

GESTIÓN CUANTITATIVA DEL PROCESO DE DESARROLLO DE SOFTWARE

Ana María Molina Correa
Jaime Andrés Alzate Naranjo

PROYECTO DE GRADO

Asesor
Rafael David Rincón Bermúdez
Profesor Universidad EAFIT

ESCUELA DE INGENIERÍA
INGENIERIA DE SISTEMAS
UNIVERSIDAD EAFIT
MEDELLÍN

2009

PÁGINA DE ACEPTACIÓN DEL PROYECTO

Nota de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

Medellín

DEDICATORIA

A nuestras familias por su apoyo y paciencia.

A todas las personas quienes nos ayudaron a corregir y complementar el contenido de este trabajo, quienes han sido un gran apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Rafael David Rincón Bermúdez, profesor del Departamento de Informática y Sistemas de la Universidad EAFIT, por haber creído plenamente en este proyecto de grado, y por su apoyo, acertados consejos y recomendaciones como asesor del mismo proyecto.

Luis Fernando Londoño y Sergio Pulido, por acompañarnos en el proceso de presentación del proyecto de grado.

A la compañía del medio, por permitir validar la guía metodológica desarrollada en algunos de sus procesos.

Los diferentes profesores de la Universidad EAFIT por su colaboración.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1. OBJETIVOS.....	16
1.1. OBJETIVO GENERAL	16
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2. CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS	17
2.1 DEFINICIÓN DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS	17
2.2 RECOPIACIÓN DE DATOS ESTADÍSTICOS	18
2.3 TIPOS DE DATOS	18
2.3.1 <i>Datos Continuos o variables</i>	18
2.3.2 <i>Datos discretos o atributos</i>	18
2.4 HERRAMIENTAS DE APOYO AL CONTROL ESTADÍSTICO.....	19
2.4.1 <i>Histogramas</i>	19
2.4.2 <i>Gráficos de Control</i>	20
2.5 TIPOS DE GRÁFICOS DE CONTROL	22
2.5.1 <i>Gráficos de Control por Variables</i>	22
2.5.2 <i>Gráficos de Control por Atributos</i>	23
2.6 EJEMPLOS DE GRÁFICOS DE CONTROL.....	24
2.7 VENTAJAS DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS.....	26
3. GESTIÓN CUANTITATIVA DEL PROCESO DE DESARROLLO DE SOFTWARE.....	27
3.1 PROCESO	27
3.2 PROCESO SOFTWARE.....	27
3.3 GESTIÓN DEL PROCESO SOFTWARE.....	28
3.4 EL ROL DE LA GESTIÓN DE PROCESOS SOFTWARE	28
3.5 NECESIDAD DE LA MEDICIÓN DEL PROCESO SOFTWARE.....	31
3.6 MEDICIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL PROCESO	32
3.7 PLANIFICACIÓN DE LA MEDICIÓN	35
3.8 SELECCIÓN Y DEFINICIÓN DE MEDIDAS EN EL PROCESO DE DESARROLLO DE SOFTWARE	36
3.9 DEFINICIÓN DE LAS MEDIDAS DEL PROCESO	40
3.10 INTEGRACIÓN CON EL PROCESO SOFTWARE	40
3.11 ANÁLISIS DE LA MEDICIÓN.....	40
3.12 ESTRATEGIAS DE MEDICIÓN.....	41
3.13 RECOLECCIÓN DE DATOS	42
3.14 ESPECIFICACIONES EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS	43
3.15 EXAMINAR Y EVALUAR LOS DATOS OBTENIDOS.....	45
3.16 LA CONSERVACIÓN DE LOS DATOS.....	46
3.17 GESTIÓN DE COMPONENTES DE DATOS.....	47
3.18 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL PROCESO.....	47
3.19 LA ESTRUCTURA DE LOS GRÁFICOS DE CONTROL.....	47
3.20 VARIACIÓN EN EL RENDIMIENTO DEL PROCESO.....	48
3.21 PROCESO DE EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD	51
3.22 CONCEPTOS Y PRINCIPIOS DE ESTABILIDAD.....	51
3.23 PRUEBAS DE ESTABILIDAD.....	52
3.24 LA ESTABILIDAD, UN PROCESO DE INVESTIGACIÓN.....	56

4. INFORMACIÓN ADICIONAL DEL COMPORTAMIENTO DE LOS GRÁFICOS DE CONTROL	57
4.1 LA CONSTRUCCIÓN DE GRÁFICOS DE CONTROL CON DATOS LIMITADOS	57
4.2 REVISAR Y ACTUALIZAR LOS LÍMITES DE CONTROL.....	58
4.3 COMPORTAMIENTO DEL PROCESO CON PATRONES ANÓMALOS	58
5. CAMINOS PARA LA MEJORA DEL PROCESO	61
5.1 ENCONTRAR Y CORREGIR LAS CAUSAS ASIGNABLES.....	61
5.2 EL INCUMPLIMIENTO COMO UNA CAUSA ASIGNABLE	62
5.3 CAPACIDAD DEL PROCESO.....	64
5.4 MEJORAS E INVERSIONES	66
6. EMPEZANDO LA GESTIÓN CUANTITATIVA DEL PROCESO SOFTWARE	69
7. ESTUDIO ENUMERATIVO VS. ESTUDIO ANALITICO.....	71
7.1 ESTUDIO ENUMERATIVO.....	71
7.2 ESTUDIO ANALÍTICO	73
8. MEDICIONES, INDICADORES, Y PREDICCIONES	75
9. ANÁLISIS DE DATOS.....	82
10. CONCLUSIONES	92
11. RECOMENDACIONES.....	93
12. APENDICES	95
13. BIBLIOGRAFÍA	106

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: OBJETIVOS DE NEGOCIO, CUESTIONES DE PROYECTOS Y PROCESOS, ATRIBUTOS CUANTIFICABLES.....	29
TABLA 2: EJEMPLOS DE ENTIDADES MEDIBLES EN UN PROCESO DE DESARROLLO DE SOFTWARE.....	33
TABLA 3: EJEMPLOS DE ATRIBUTOS MEDIBLES ASOCIADOS CON ENTIDADES DEL PROCESO DE DESARROLLO DE SOFTWARE.....	34
TABLA 4: ASPECTOS DE CUMPLIMIENTO Y POSIBLES FUENTES DE INCUMPLIMIENTO.....	63
TABLA 5: EJEMPLOS DE INDICADORES PARA PROCESOS DE NEGOCIO.....	37

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL	14
FIGURA 2: PROCESO BAJO CONTROL ESTADÍSTICO	17
FIGURA 3: GRÁFICA DE CONTROL.....	20
FIGURA 4: PROCESO ESTABLE PERO INCAPAZ	20
FIGURA 5: PROCESO FUERA DE CONTROL (INESTABLE)	21
FIGURA 6: PROCESO FUERA DE CONTROL (INESTABLE)	22
FIGURA 7: LAS CUATRO FUNCIONES DE LA GESTIÓN DE PROCESOS.....	25
FIGURA 8: LAS PRINCIPALES ACTIVIDADES DE PLANIFICACIÓN DE LA MEDICIÓN	31
FIGURA 9: LA INTERPRETACIÓN DE DATOS REQUIERE ANÁLISIS	43
FIGURA 10: ESTRUCTURA DE UN GRÁFICO DE CONTROL	44
FIGURA 11: CONCEPTO DE VARIACIÓN CONTROLADA.....	45
FIGURA 12: CONCEPTO DE VARIACIÓN NO CONTROLADA O VARIACIÓN DEBIDA A CAUSAS ASIGNABLES	46
FIGURA 13: PROCESO ESTABLE BAJO CONTROL ESTADÍSTICO	48
FIGURA 14: X-BAR Y R PARA UN PROCESO QUE SE ENCUENTRA BAJO CONTROL.....	49
FIGURA 15: PROCESO FUERA DE CONTROL	50
FIGURA 16: X-BAR Y R PARA UN PROCESO FUERA DE CONTROL	51
FIGURA 17: PASOS PARA USAR LOS GRÁFICOS DE CONTROL COMO HERRAMIENTA PARA EVALUAR LA ESTABILIDAD DE UN PROCESO SOFTWARE	53
FIGURA 18: HISTOGRAMA QUE REFLEJA LA CAPACIDAD DEL PROCESO.....	61
FIGURA 19: COMPORTAMIENTO DEL PROCESO VS. REQUERIMIENTOS DEL PROCESO	61
FIGURA 20: PIRÁMIDE DE RENDIMIENTO PARA PROCESOS DEL NEGOCIO	63
FIGURA 21: INDICADORES DE SATISFACCIÓN FLEXIBILIDAD Y PRODUCTIVIDAD	65

LISTA DE APENDICES

APENDICE 1. CONSTRUCCIÓN DE GRÁFICOS.	95
--	----

RESUMEN

Siendo la calidad un recurso tan valioso en los proyectos de Software, de alto grado de importancia en la vida cotidiana y con la alta competencia que el mercado globalizado exige, las empresas colombianas requieren implementar una metodología que permita garantizar altos niveles de madurez y calidad en los procesos de desarrollo de software, los cuales son medidos a nivel mundial por el modelo CMMI como un estándar Internacional. El modelo CMMI consta de 5 niveles que califican la madurez en los procesos de desarrollo de Software; estos niveles son: Inicial, Administrado, Definido, Administrado cuantitativamente, y en optimización.

La calidad de los procesos productivos tiene incidencia directa en la calidad de los productos y servicios entregados a los clientes. Contar con procesos definidos, repetibles y maduros facilita un mejor uso de los recursos de la organización, lo que por consiguiente lleva a un desempeño económico y estratégico superior para la organización.

En la industria informática es bastante habitual encontrar organizaciones que emplean enfoques muy informales para producir software, lo que podría incurrir en desperdicio de esfuerzo y presupuesto en el desarrollo de proyectos, que finalmente podrían ser cancelados o suspendidos, y las consecuencias de estas prácticas repercuten en proyectos atrasados o excedidos del presupuesto, lo que genera inconformidad en los clientes. Por lo tanto, administrar los proyectos de desarrollo de software mediante procesos predecibles que recolecten mediciones detalladas del proceso y provean una retroalimentación cuantitativa, no sólo asegurarán una calificación en los niveles de alta madurez de CMMI, sino que permitirán a la organización eliminar la dependencia del esfuerzo individual de los programadores, y encaminarán los procesos a una fácil y premeditada prevención de defectos que no es posible sin la gestión cuantitativa, ya que ésta se retroalimenta con aprendizaje de sus propios errores y permite predecir a futuro el comportamiento del proceso, además el esfuerzo colectivo de los integrantes del proyecto que pueden interactuar fácilmente en el mejoramiento de la calidad.

Esta gestión garantizará mejoras inminentes en el logro de los objetivos y en el tiempo de realización de los mismos, lo que lleva a una mejora constante en la calidad de los procesos y por ende de los productos, llegando así a un mejoramiento del desempeño económico y estratégico de la organización.

Este proyecto de grado pretende realizar un recorrido teórico a través de la gestión cuantitativa orientada al Proceso de Desarrollo de Software, clarificar las diferencias que existen entre el Control Estadístico orientado a procesos de manufactura y la Gestión orientada al Desarrollo de Software, proponer indicadores y métricas para una correcta recopilación de datos, y servir de base y apoyo para futuras implantaciones de esta en las empresas dedicadas a esta labor. Para así poder controlar estadísticamente los proyectos que desarrollan y así mejorar la calidad de los productos, mediante un proceso optimizado, repetible y predecible.

GLOSARIO

Media (μ): Corresponde a la suma de los valores observados, dividido por el número de observaciones.

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_i^n X_i$$

Desviación estándar (s): Es la raíz cuadrada de la media de las desviaciones de los valores observados, con respecto a su media aritmética, elevados al cuadrado.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{n - 1}}$$

Varianza (σ): Es el valor de la desviación estándar (s) elevada al cuadrado.

$$\sigma = s^2$$

Distribución normal: es una curva totalmente simétrica con respecto a su media (μ), se extiende desde menos infinito hasta más infinito y queda totalmente definida por la media (μ) y la desviación estándar (s).

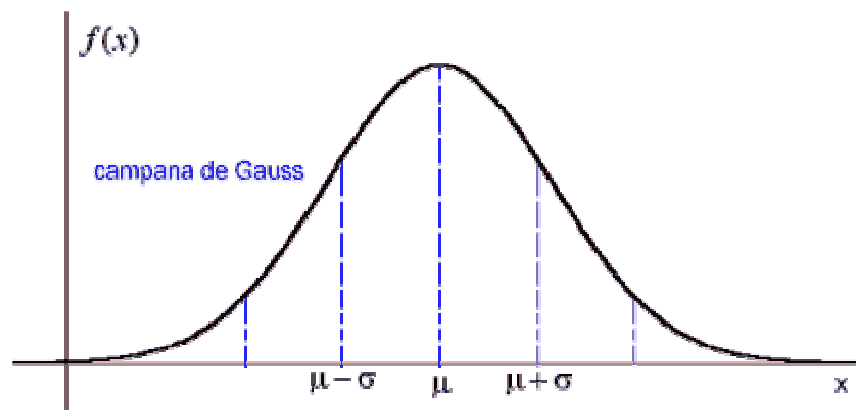


Figura 1. Representación Gráfica de la Distribución Normal

Atributos: Son datos cualitativos, cuyos resultados pueden ser registrados con un simple “sí / no” o “pasa / no pasa”.

Especificación: Es el requerimiento de ingeniería por juicio de aceptabilidad de una característica en particular. Se determina con respecto a lo funcional o a los requerimientos del cliente para el producto. Una especificación nunca deberá confundirse con un límite de especificación.

Frecuencia de distribución: Es una tabla estadística que gráficamente presenta un gran volumen de datos, de tal forma que la tendencia central (media o promedio) y la distribución de los valores, son claramente visualizados.

Muestra: Uno o más ítems tomados de una población con el propósito de identificar las características y el desempeño de ésta.

Población: Es el universo de datos que se está investigando y del cual se tomarán las muestras.

Predicción: Es una estrategia orientada al futuro, que mejora la calidad dirigiendo el análisis y la acción hacia la corrección del proceso de producción. La prevención es consistente con la filosofía de mejora continua.

Rango: Es una medida de la variación de un grupo de datos. Se calcula como la diferencia entre el valor más alto y el más bajo dentro del mismo grupo de datos.

Tendencia: Patrón de una carta de control que caracteriza los continuos altibajos de una serie de datos. La atención debe prestarse a tales patrones cuando excedan un número predeterminado estadísticamente.

Capacidad: Es un indicador que permite situar un proceso dentro de sus límites de especificación. Está relacionado con el equilibrio, la consistencia, la repetición, y la capacidad de satisfacer los requerimientos del cliente.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la gran mayoría de organizaciones de desarrollo de software en Colombia que han sido valoradas con relación al modelo CMMI, sólo han alcanzado los niveles 2 y 3 de madurez en la calidad de la ejecución y evaluación de sus procesos. Estas empresas utilizan métricas orientadas por las prácticas del modelo CMMI que les permiten realizar un seguimiento a los procesos y medir la calidad una vez realizados, es decir, miden solo los eventos que ocurrieron o están ocurriendo, no lo que podría ocurrir.

Para que una organización pueda predecir el comportamiento de sus procesos debe implantar el control estadístico de los mismos. Estas prácticas, además de asegurar la calidad del producto final, permiten la detección y corrección de errores, estabilizan los procesos y reducen la variabilidad, permitiendo el análisis predictivo a corto plazo. En adición a esto, el implantar el control estadístico de procesos permite acercar las organizaciones dedicadas al desarrollo de software, a la gestión cuantitativa del proceso y a los niveles de alta madurez de CMMI.

El Control Estadístico de Procesos (CEP) no es un tema nuevo para las empresas de manufactura en general, este tema se encuentra extensamente documentado e implantado en algunas organizaciones, desde grandes corporaciones hasta pequeñas microempresas. Sin embargo, aplicar e implantar este Control Estadístico y en específico la Gestión Cuantitativa de procesos a los procesos de desarrollo de software, sí es una actividad en desarrollo en las organizaciones locales. Actualmente, las pocas organizaciones que tienen implantado el proceso se enfoca principalmente en la realización de gráficos de control y el análisis posterior de éstos, y resta importancia a aspectos más importantes como las condiciones que deben poseer los sistemas para arrojar muestras estadísticas significativas que permitan realizar análisis predictivos de la gestión de calidad, y la realización, implementación y análisis de las mismas. Además, este proceso aplicado al desarrollo de software se encuentra poco documentado y existen pocas guías o estrategias que detallen la implantación del Control Estadístico en el proceso de desarrollo de software, lo cual es pieza clave de esta investigación.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo General

Definir y documentar una guía teórica que permita acercar a las organizaciones a la implantación del control estadístico de procesos aplicado al desarrollo de software.

1.2. Objetivos Específicos

- 1.2.1. Conocer el estado actual de los procesos de desarrollo de software en las organizaciones locales, que permita conocer las fortalezas y debilidades de los procesos implantados en la actualidad, metodologías y tecnologías usadas.
- 1.2.2. Definir métricas en las diferentes etapas y niveles del proceso de desarrollo de software que permitan recolectar información para el análisis cuantitativo.
- 1.2.3. Contribuir con las organizaciones de desarrollo de software al acercamiento de niveles de calificación CMMI de alta madurez.
- 1.2.4. Proponer, analizar y definir lineamientos metodológicos para contribuir a la implantación de la Gestión Cuantitativa del Proceso de Desarrollo de Software.
- 1.2.5. Aplicar la propuesta de la Gestión Cuantitativa del Proceso de Desarrollo de Software en una empresa de Software local.

2. CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS

2.1 Definición de Control Estadístico de Procesos

El Control Estadístico de Procesos (CEP) es una herramienta estadística de la calidad que permite conocer, por medio de la comparación continua, los resultados y la calidad de un proceso de fabricación, identificando a través de datos estadísticos las tendencias y variaciones más significativas con el fin de prevenirlas, controlarlas y eliminarlas. Sirve, además, como herramienta para distinguir entre las causas comunes y especiales de variación, para conocer los efectos de cambios o variaciones introducidas al proceso, y para tomar decisiones de cuando se debe ajustar un proceso.

El Control Estadístico de Procesos (CEP) permite monitorear el proceso de producción, mediante datos reales y confiables. Esta información se agrupa bajo conceptos estadísticos y se dispone de forma tal que permita la detección y el análisis de errores, reproceso y sobre costos de producción, y así tomar medidas correctivas en el proceso, antes de iniciar uno nuevo.

Antes de adentrarnos en el control estadístico es importante tener en cuenta 3 conceptos básicos:

- **Estadística:** Este término implica recolección, representación e interpretación de datos y particularmente proporciona conclusiones gráficas obtenidas a partir de información numérica.
- **Control:** En este caso, control significa mantener el proceso dentro de los límites, o hacer que este se comporte de la manera que se espera. El Control por sí mismo no es suficiente, ya que después de lograrlo se debe continuar con un proceso de mejoramiento.

- **Proceso:** Cualquier actividad puede ser un proceso. Una definición más precisa considera un proceso como la combinación de métodos, personas, materiales condiciones ambientales y equipo requeridos para obtener el resultado deseado.

2.2 Recopilación de Datos Estadísticos

El Control de Procesos sólo es posible cuando se posee información que indique el estado de un proceso. Existe una cantidad de datos que pueden recolectarse en una entidad, relacionados con los productos, servicios, costos, seguridad, datos financieros, etc. Estos datos deben ser corregidos con cuidado y precisión, de acuerdo con el objetivo para el cual se reúne esta información, que debe estar definido y claramente expuesto.

Después de reconocer que los datos son necesarios para el control de un proceso, se deben establecer los métodos correctos para la toma y análisis de éstos teniendo en cuenta los tipos de problemas que se presentan. La variación excesiva es la principal causa de muchos problemas en la industria y para poderla controlar se debe entender primero su naturaleza y cómo medirla.

2.3 Tipos de datos

Los datos generalmente pueden ser de dos tipos:

2.3.1 Datos Continuos o variables: son aquellos que resultan de un proceso de medición, es decir, aquellos que pueden ser medidos.

2.3.2 Datos discretos o atributos: son aquellos que no implican un proceso de medición sino de conteo; se relacionan con la presencia o ausencia de cualidades, permitiendo la emisión de juicios tales como: aceptado, rechazado, según los artículos satisfagan o no las especificaciones.

El Control Estadístico de Procesos (CEP) debe permitir la recopilación y clasificación de datos estadísticos durante cada fase del desarrollo, el análisis de datos y especificación de causas de errores, asignar prioridades y definir estrategias de mejora, de acuerdo con las prioridades.

Características del CEP:

- Aplica herramientas de control estadístico de calidad en los procesos.
- Apoya la toma de decisiones.

Es normal que los procesos presenten variación, pero cuando esta variación se debe a causas especiales y no a las actividades normales del proceso, se considera que está fuera de control estadístico. Las causas especiales de variación, también llamadas causas asignables o atribuibles, no tienen relación con el diseño del proceso, son transitorias y se encuentran localizadas en operaciones específicas, representan cambios anormales repentinos o persistentes a uno o más de los componentes del proceso.

Si la variación en el proceso sólo se debe a cambios debidos a la interacción normal o inherente entre los componentes del proceso (gente, máquinas, materiales, etc.), se dice que el proceso está bajo control estadístico, puesto que son inherentes a las actividades definidas para el proceso. Las características más importantes de las causas comunes son su detección, generalmente complicada y que no se pueden eliminar sin hacer cambios radicales lo que resulta muy costoso en el diseño del proceso.

2.4 Herramientas de Apoyo al Control Estadístico

2.4.1 Histogramas

Es una gráfica que permite analizar la distribución de la información o datos de un proceso en contraste con el número de ocurrencias de cada valor. Su objetivo es diagnosticar rápidamente la panorámica del comportamiento de un proceso a través del

tiempo, analizar los cambios que en él suceden y mostrar la variación de los datos. La variabilidad se puede determinar observando qué tan ancho es el histograma.

Un histograma no es suficiente para establecer el control de un proceso, pero se puede utilizar como parte de un gráfico de control para brindar un soporte adicional a la información del gráfico.

Esta herramienta se debe asociar con capacidad y no control. La capacidad se refiere a la habilidad que tiene una máquina para generar resultados que se encuentren entre los límites especificados.

Los datos se obtienen midiendo las características de una muestra aleatoria, es decir, aquella en la cual cualquier miembro de la población posee igual probabilidad de ser extraído. Utilizando estos datos, se llega a inferir sobre la población, y en consecuencia, se toma una acción correctiva. La organización de un buen número de datos en un histograma permite apreciar la cantidad de variación que tiene un proceso.

2.4.2 Gráficos de Control

Los Gráficos de Control representan una herramienta que sirve para analizar y determinar el estado de un proceso, de tal forma que puedan tomarse las acciones adecuadas para lograr y mantener un proceso bajo control estadístico, con el fin de eliminar una variación anormal que permita distinguir las variaciones debidas a causas asignables de aquellas debidas al azar.

- **Causas comunes o debidas al azar:** Las variaciones debidas al azar parten de la variación inherente al proceso mismo, son inevitables, aun si la operación se realiza usando materias primas y métodos estandarizados. Su origen se debe usualmente a un elemento del sistema, el cual sólo puede ser corregido modificando el sistema.
- **Causas especiales o asignables:** La variación debido a causas asignables significa que hay factores importantes que pueden ser investigados, tales como errores

humanos, accidentes dentro del proceso, cambio de una materia prima, etc. Esto no es un comportamiento típico del proceso.

Los Gráficos de Control están basados en las propiedades de la curva normal en la cual el 99% de los valores están comprendidos alrededor de la media, limitando con un valor igual a tres veces el valor de la varianza (3σ) tanto en los valores superiores a la línea central como los inferiores.

Un Gráfico de Control se construye con límites estadísticamente determinados; estos límites se denominan: Límite de Control Superior (LCS), y Límite de Control Inferior (LCI); y se ubican equidistantes a ambos lados de la línea que indica el promedio de un proceso (Línea Central - LC)

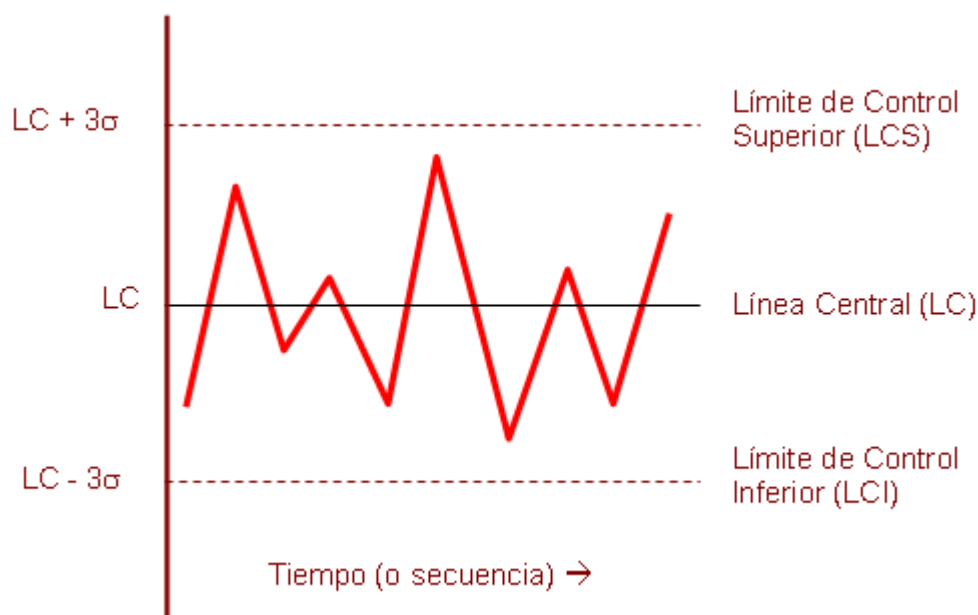


Figura 2. Proceso Bajo Control Estadístico

Los puntos son resultados de las mediciones que, unidos por una línea, muestran el comportamiento estadístico del proceso. Cuando los puntos se ubican por fuera de los límites de control o muestran una tendencia particular, se dice que el proceso está “fuera de control estadístico,” y esto equivale a decir que existe variación por causas asignables o especiales.

Hay varias clases de Gráficos de Control, dependiendo de su propósito y de las características de la variable. Sin embargo, todos los Gráficos de Control tienen 2 usos básicos:

- Evidenciar si un proceso ha estado operando bajo Control Estadístico y señalar la presencia de causas especiales de variación, que deben ser corregidas en cuanto se presenten.
- Permitir mantener el estado de Control Estadístico, ya que pueden tomarse decisiones con base en el comportamiento del proceso a lo largo del tiempo.

2.5 Tipos de Gráficos de Control. Dependiendo de la característica de calidad por controlar, los Gráficos de control se dividen en 2 grandes grupos:

2.5.1 Gráficos de Control por Variables: Se les denomina “variables,” ya que se aplican a características de calidad que pueden obtenerse mediante un instrumento de medición. Los gráficos más utilizados, son:

- **Gráfico Promedios y Rangos (μ - R):** Este gráfico es el más empleado, puesto que los cálculos para su realización son simples, y aporta la información necesaria sobre el comportamiento del proceso. Se compone de dos secciones: en la parte superior se grafica el comportamiento de los promedios a lo largo del tiempo (promedio de cada uno de los grupos de muestras) y, en la parte inferior, el comportamiento de los rangos (diferencia entre el dato menor y mayor entre cada grupo de muestras).
- **Gráfico Mediciones individuales y rango móvil (X):** En algunos procesos la información para control estadístico no se obtiene con base en muestras de tamaño “n” sino de mediciones individuales espaciadas en el tiempo; en este caso, se grafica cada dato individualmente, y esa gráfica puede usarse como Grafico de Control. Debido a que no hay subgrupos, el valor “R” no puede

calcularse y se usa el rango móvil (RS), que se obtiene como la diferencia entre datos sucesivos para el cálculo de los límites de control.

2.5.2 Gráficos de Control por Atributos: Se utilizan cuando los datos son cualitativos y pueden ser contados para su registro y análisis. Este concepto se aplica a muchas características que pueden juzgarse solamente mediante examen visual. Los Gráficos de Control por atributos se dividen, en:

- **Gráficos “porcentaje” de unidades defectuosas (p):** Analiza la relación entre la cantidad de artículos defectuosos encontrados y el total de artículos examinados. Este tipo de gráfica permite muestras de tamaños diferentes.
- **Gráficos “número” de unidades defectuosas (np):** Se emplea cuando se desea graficar precisamente la cantidad de unidades defectuosas y no el porcentaje que estas representan. La muestra debe ser de tamaño constante.
- **Gráficos “número” de defectos por unidad inspeccionada (c):** Este gráfico muestra el comportamiento de un proceso considerando el número de defectos encontrados al inspeccionar una unidad del producto. Debe utilizarse sólo cuando la zona de oportunidad de encontrar defectos permanece constante, es decir, todas las muestras deben tener las mismas medidas.
- **Gráficos “fracción” de unidades defectuosas (u):** Es una variación del gráfico “número” de defectos por unidad inspeccionada (c), se emplea cuando la zona donde se presentan los defectos no permanece constante.

2.6 Ejemplos de Gráficos de Control

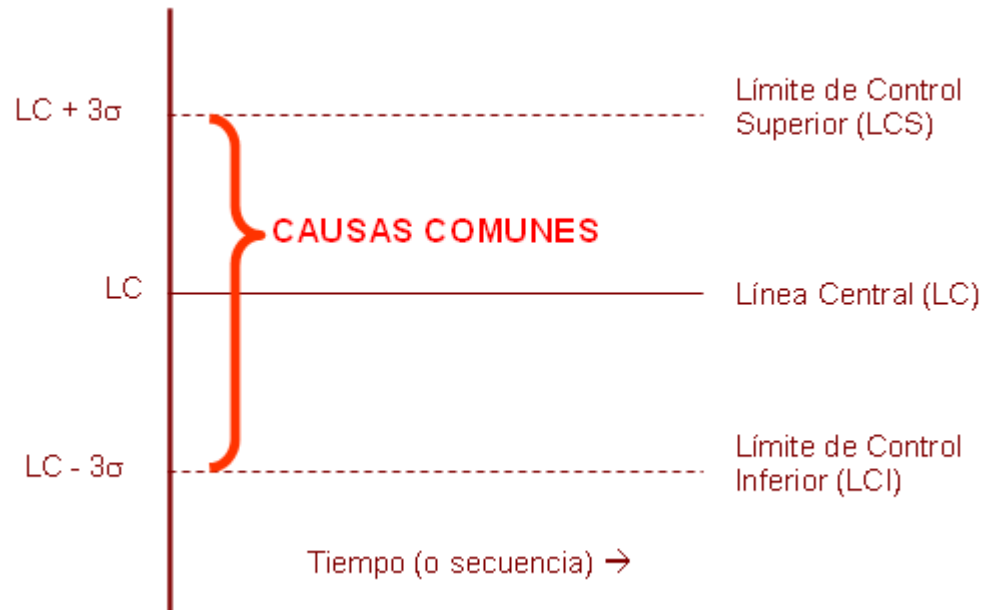


Figura 3. Gráfica de Control

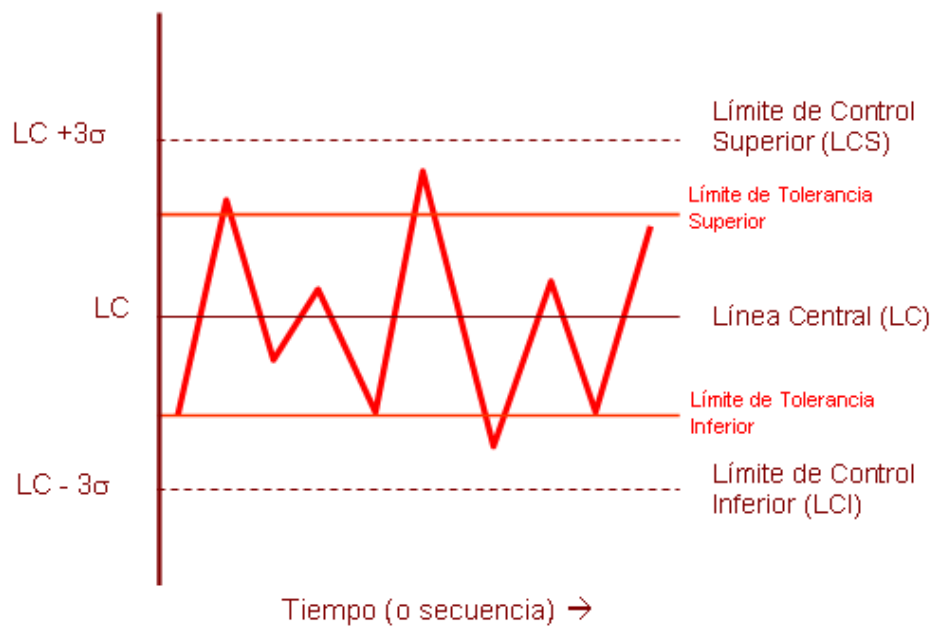


Figura 4. Proceso Estable pero No Capaz

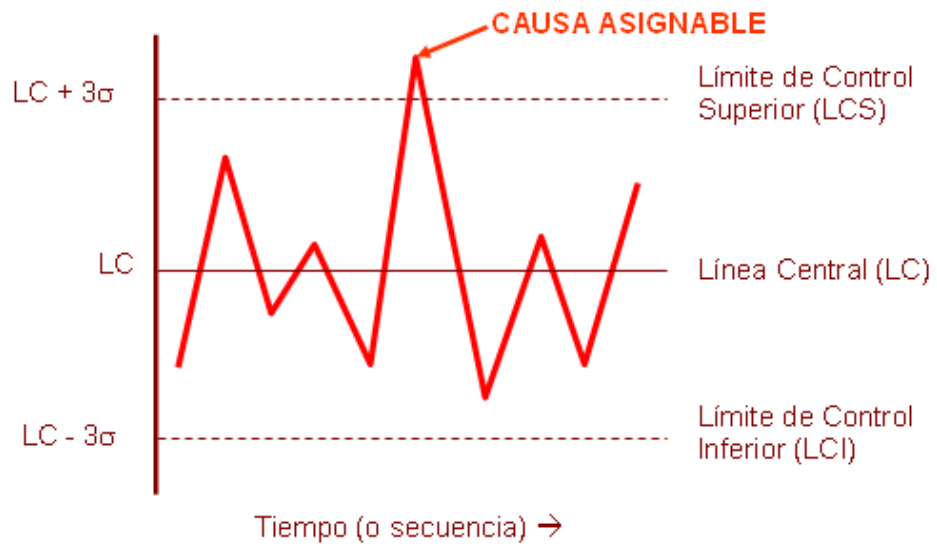


Figura 5. Proceso Fuera de Control (Inestable)

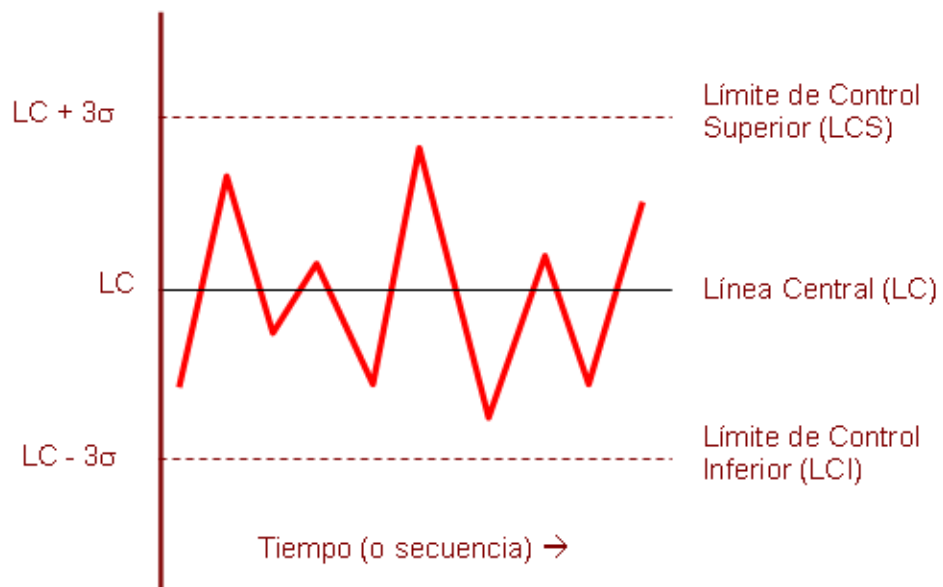


Figura 6. Proceso Fuera de Control (Inestable)

2.7 Ventajas del Control Estadístico de Procesos

- Los procesos se estabilizan, lo que hace posible predecir su comportamiento, al menos en el corto plazo.
- Los procesos cuentan con un conjunto dado de condiciones que son necesarias para hacer predicciones.
- Los procesos operan con menos variabilidad que un proceso con causas especiales.
- Eliminar o corregir algunas causas especiales pueden revelar la existencia de otras causas especiales que estaban ocultas por las anteriores.
- Los Gráficos de Control ayudan a evitar ajustes, y al mismo tiempo los puntos fuera control indicarán la presencia de una causa especial en alguna de las etapas del desarrollo de software.
- Saber que los Procesos se encuentran bajo Control Estadístico ayuda en los intentos de hacer una reducción a largo plazo de la variabilidad.
- Un análisis de Control Estadístico, que incluye los Gráficos de Control, identificará con facilidad las tendencias a través del tiempo que no son evidentes en otros resúmenes de datos, como los histogramas.

El Control Estadístico de Procesos (CEP) es una metodología probada para mejorar, tanto la calidad como la productividad (Evans, 2000). Con respecto a lo anterior, se debe tener en cuenta:

- El CEP no selecciona buenos o malos productos, eso es trabajo de la fabricación.
- El equipo fabricante del producto es el responsable de la calidad, no el Control Estadístico de los Procesos (Orozco, 1997).

3. GESTIÓN CUANTITATIVA DEL PROCESO DE DESARROLLO DE SOFTWARE

La gestión cuantitativa del proceso de desarrollo de software por medio del control estadístico de procesos, es un conjunto de herramientas encaminadas a recopilar, estudiar y analizar la información de procesos para poder tomar decisiones que apunten a la mejora continua de éstos, logrando asegurar que los procesos cada vez sean más óptimos.

A continuación se profundiza en los diferentes elementos que componen el Control Estadístico de Procesos:

3.1 Proceso

Un proceso puede definirse como la organización lógica de personas, materiales, energía, equipos y procedimientos involucrados en el trabajo de actividades destinadas a producir un determinado resultado final. (Gabriel Pall, 1987).

Incluidas las personas, materiales, energía, y herramientas, en el concepto de proceso se convierte en importante cuando se empieza a aplicar los principios de control estadístico de proceso para mejorar el rendimiento y la capacidad del proceso. Para ello, se usan medidas de variabilidad para identificar oportunidades para mejorar la calidad de los productos y la capacidad de los procesos. Al buscar las causas de la variación inusual, sería un error excluir a personas, materiales, energía, y las herramientas del ámbito de aplicación de la investigación.

3.2 Proceso Software

El concepto de proceso de software es aplicable a cualquier actividad que se lleva a cabo para producir o apoyar un producto o servicio de software. Esto incluye la planificación, estimación, diseño, codificación, pruebas, inspección, revisión, medición, y control, así

como las tareas y actividades que conforman este conjunto. En resumen, el proceso software es un conjunto de actividades que producen un producto software.

3.3 Gestión del Proceso Software

La gestión del proceso software consiste en administrar con éxito los procesos de trabajo asociados con el desarrollo, mantenimiento y soporte a los productos de software.

Este concepto de gestión de procesos, se basa en los principios de control estadístico de procesos, los cuales sostienen que mediante el establecimiento y mantenimiento estable de los niveles de variabilidad, los resultados de los procesos de software serán predecibles. Por esto, se puede aseverar entonces que los procesos se encuentran bajo control estadístico.

Un fenómeno será controlado a través de la utilización de la experiencia del pasado; se puede predecir, al menos dentro de ciertos límites, la forma como el fenómeno pueda variar en el futuro (Walter Shewhart, 1931).

3.4 El Rol de la Gestión de Procesos Software

Hay cuatro funciones que son centrales para la gestión de procesos:

- Definir el proceso.
- Medir el proceso.
- Controlar el proceso (asegurar que la variabilidad es estable, de manera que los resultados son predecibles).
- Mejorar el proceso.

Estas funciones corresponden a un ciclo de mejoramiento repetitivo (Shewhart, 1939) y es caracterizado como (Planear, Hacer, Verificar, Actuar). Permite mejorar los procesos a través de aprendizaje, evaluación, y seguimiento paso a paso para reducir variación en el proceso.

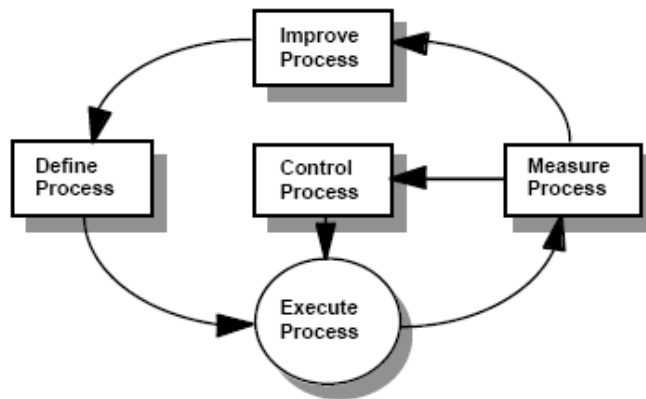


FIGURA 7. Las Cuatro Funciones de la Gestión de Procesos

Florac William A, Carleton Anita D. MEASURING THE SOFTWARE PROCESS: STATISTICAL PROCESS CONTROL FOR SOFTWARE PROCESS IMPROVEMENT. Año 1999.

DEFINIR EL PROCESO: Para esto se deben identificar los elementos relacionados con la definición, ejecución, y el mantenimiento del proceso:

- Diseño de procesos que apunten y/o soporten los objetivos técnicos y de negocio.
- Identificar y definir modelos y medidas que se refieran al rendimiento de los procesos.
- Proporcionar las infraestructuras (el conjunto de métodos, personas y prácticas) que son necesarios para apoyar las actividades de software.
- Asegurarse que la organización de software tiene la capacidad para ejecutar y mantener los procesos.

MEDIR EL PROCESO: Las mediciones son la base para la detección de desviaciones de rendimiento aceptable. Ellas son también la base para identificar oportunidades de mejora de los procesos. Los objetivos principales de la medición de los procesos, son:

- Recopilar datos que midan el rendimiento de cada proceso.
- Analizar el rendimiento de cada proceso.
- Conservar y utilizar los datos, para:
 - Evaluar la estabilidad y la capacidad del proceso.
 - Analizar los resultados de las observaciones.
 - Prever los gastos futuros y el rendimiento.

- Identificar tendencias.
- Hallar oportunidades de mejora.

CONTROLAR EL PROCESO: Control de un proceso significa mantener el proceso dentro de su normal límite de rendimiento, es decir, que el proceso se comporte coherentemente. Esto implica:

- Medición: la obtención de información sobre el rendimiento del proceso.
- Detección: analizar la información para identificar variaciones en el proceso, que se deben a causas asignables.
- Corrección: la adopción de medidas para eliminar la variación debida a causas asignables del proceso [Pall, 87].

Para decirlo de otro modo, las tres medidas claves necesarias para establecer y mantener el control de un proceso de software, son las siguientes:

- Determinar si el proceso está o no bajo control (es decir, está estable con respecto a la variabilidad, resultado de medir el rendimiento de si mismo).
- Identificar las variaciones de rendimiento que son causadas por anomalías en el proceso (causas asignables).
- Eliminar las fuentes de causas asignables a fin de estabilizar el proceso.

MEJORAR EL PROCESO: Aunque un proceso puede ser definido y estar bajo control, es posible que no pueda ser capaz de producir productos que satisfagan las necesidades de los clientes o los objetivos de la organización. Para la mayoría de organizaciones, los procesos deben ser tecnológicamente competitivos, adaptables, y oportunos, y producir elementos que satisfagan las necesidades de los clientes. Además, los recursos deben estar disponibles y ser capaces de realizar y apoyar los procesos.

Los procesos se pueden mejorar realizando cambios que mejoren sus capacidades, o dividiendo el proceso en subprocesos más eficaces o eficientes. En cualquiera de los dos casos, la organización debe tener en cuenta que las nuevas características de los procesos, deben:

- Comprender las características de los procesos existentes y los factores que afectan la capacidad del proceso.
- Planear, justificar y ejecutar acciones para modificar los procesos a fin de satisfacer mejor las necesidades de las organizaciones.
- Evaluar los impactos y beneficios obtenidos, y comparar estos con los costos de los cambios realizados en los procesos.

3.5 Necesidad de la Medición del Proceso Software

Los avances en cuanto a tecnología son cada vez más rápidos, por lo cual la demanda de productos de software es cada vez más grande y con mayores rangos de aplicación. La demanda de la gestión de software está aumentando correlativamente. Los desarrolladores de software se están enfrentando con las nuevas tecnologías, que los obliga cada día a ser más competitivos en los mercados, a aumentar el personal experimentado, y a cumplir las exigencias de rapidez de respuesta. Al mismo tiempo, sigue siendo de gran preocupación los requisitos, los cambios incontrolados, las pruebas, la financiación, la fiabilidad, y la idoneidad del producto.

La medición de software por sí sola no puede resolver estos problemas, pero puede aclarar y centrar su comprensión en ellos. Además, cuando se efectúan correctamente mediciones secuenciales de atributos de la calidad de los productos y procesos, puede proporcionar una base eficaz para iniciar la gestión de las actividades de mejora de los procesos.

El éxito de cualquier organización dedicada a la producción de software depende de la capacidad de hacer predicciones acerca de sus procesos. La eficiencia en la medición de estos, ayuda a los grupos de desarrollo del software a comprender sus capacidades, a fin de que puedan desarrollar planes viables para producir y entregar productos y servicios.

Las mediciones también involucran que las personas puedan detectar tendencias y anticipar los posibles problemas, proporcionando un mejor control de costos, reducción de

riesgos, mejora de la calidad, y permitiendo garantizar el logro de los objetivos del negocio.

3.6 Medición del Comportamiento del Proceso

Se debe identificar los factores críticos que determinan si se va o no a tener éxito en el cumplimiento de los objetivos. Estos factores críticos son a menudo asociados con problemas. Cuestiones, que a su vez, se refieren a los riesgos que amenazan la capacidad para cumplir los objetivos. Estos sirven para identificar y centrar las mediciones necesarias para cuantificar el estado y el rendimiento de los procesos de desarrollo de software.

Para ayudar a abordar las metas del negocio puede resultar útil utilizar las funciones de gestión de software en tres amplias categorías: la gestión de proyectos, gestión de procesos, e ingeniería de productos. Cada una de estas funciones de gestión aborda diferentes inquietudes, cada uno con sus propios objetivos.

- Gestión de proyectos: Los objetivos de los programas informáticos de gestión de proyectos se enfocan en establecer y cumplir los compromisos realizables con relación al costo, horario, calidad, y la función de entrega, en lo que se refiere a desarrollo individual o mantenimiento de los proyectos.
La gestión de proyectos tiene como interés principal la creación de planes realizables y el seguimiento de la situación y el progreso de sus productos con relación a sus planes y compromisos.
- Gestión de procesos: El objetivo es garantizar que los procesos dentro de la organización se están realizando como se espera, a fin de garantizar que se siguen los procesos como fueron definidos y la mejora de la capacidad de producir productos de calidad.
- Ingeniería de producto. El objetivo es garantizar aceptación de los clientes respecto a la satisfacción con el producto. Las cuestiones de mayor preocupación

se refieren principalmente a la física y dinámica de atributos como fiabilidad, facilidad de uso, capacidad de respuesta, estabilidad, rendimiento. La información acerca de estos atributos y la satisfacción del cliente es importante para evaluar el acierto del producto.

Existen muchas interacciones entre las funciones en la mayoría de las organizaciones de software; en la mayoría de los casos, estas interacciones conducen a actividades que deben ser gestionadas. Además, diversas entidades a menudo tienen diferentes objetivos, y diferentes problemas, perspectivas e intereses, incluso, cuando comparten los mismos objetivos de negocio global. Con frecuencia, esto conduce a las diferentes necesidades de medición y análisis, pero independientemente de las prioridades, los objetivos de negocio, estrategias, planes para todas las organizaciones se forman en torno a objetivos relacionados con calidad, costo, cumplimiento de los compromisos a los clientes con respecto a los productos y servicios. Por ejemplo, si los objetivos empresariales se basan en la funcionalidad, costo, anticipación al mercado, y calidad del producto o servicio, se pueden identificar los proyectos y los procedimientos que se refieren a la consecución de estos objetivos. El rendimiento del proceso puede ser cuantificado por la medición de los atributos de los productos producidos por nuestros procesos, así como por el proceso de medición de los atributos directamente.

En la Tabla 1 se evidencia por objetivo de negocio, las cuestiones principales en procesos y proyectos y sus atributos cuantificables.

TABLA 1. Objetivos de Negocio, Cuestiones de Proyectos y Procesos, Atributos Cuantificables

Metas del negocio	Problemas del proyecto	Otros Problemas	Atributos del proceso
Incrementar funcionalidad.	Crecimiento del producto. Estabilidad del producto.	Conformidad con el Producto.	Numero de Requerimientos. Tamaño del producto. Complejidad. Rata de cambios. % de Inconformidad.
Reducir costos	Presupuestos. Tasa de gastos	Eficiencia. Productividad. Repetir trabajo.	Tamaño del producto Complejidad. Numero de cambios. Estabilidad de los requerimientos.
Reducir el tiempo de salida al mercado.	Calendario de avance	Rata de producción	Tiempo transcurrido, para normalizar las características del producto.
Mejorar la calidad del producto.	Rendimiento del producto. Corrección del producto. Fiabilidad del producto.	Previsibilidad. Reconocimiento de problemas.	Numero de defectos introducidos. Eficacia en la detección de defectos

Las mediciones de atributos como los que se muestran en la columna cuatro de la Tabla 1, son importantes no sólo porque pueden ser usados para describir productos y procesos, sino porque pueden ser utilizados para el control de los procesos que producen el producto final, con lo que el rendimiento futuro del proceso será predecible. Las mediciones de los atributos del proceso también se pueden utilizar para cuantificar el rendimiento del proceso de desarrollo y brinda una guía en el proceso de toma de decisiones respecto a las mejoras. Esto, a su vez ayuda a mantener operaciones competitivas y rentables.

Existen dos propiedades en el proceso que son importantes para lograr con éxito las metas del negocio: la estabilidad del proceso y la capacidad del proceso. La estabilidad del proceso permite predecir el rendimiento futuro y preparar planes realizables. También proporciona una base para separar la información irrelevante intrínseca en los datos, que puede llevar el análisis por caminos diferentes al esperado; de manera que las desviaciones de la estabilidad pueden ser reconocidas y convertirse en la base de un control efectivo y acciones de mejora.

Si un proceso está en control estadístico, y si una proporción suficientemente grande de los resultados se ubican dentro de los límites de especificación, el proceso se denomina capaz. Así pues, un proceso capaz es un proceso estable cuyo desempeño satisface las necesidades del cliente.

La estabilidad en el proceso de software esta relacionada con las mediciones que se toman a lo largo del proceso y pueden evidenciarse en una gráfica; si la mayoría de estas se mantienen dentro de unos límites especificados y no existen mediciones que se alejen demasiado de las demás (son precisas en el tiempo), se dice que el proceso es estable, y además si este proceso estable logra cumplir con su objetivo de producir un producto de software, o parte de él, se dice que el proceso es capaz.

La estabilidad y la capacidad tienen en común que son atributos del proceso necesarios para el logro de los objetivos del proceso mismo; además, la estabilidad y la capacidad se obtienen mediante la medición de atributos y son prerequisites para el análisis y la gestión del proceso.

3.7 Planificación de la Medición

La responsabilidad en la gestión del proceso puede abarcar todo el ciclo de vida de un producto de software. También puede centrarse en aspectos específicos del desarrollo o ciclo de apoyo. En cualquiera de los casos, el proceso o subproceso que se ha gestionado tiene un propósito o un objetivo, que va en relación a cumplir con los objetivo

del negocio. La experiencia ha demostrado que es importante identificar los factores críticos que determinan si el proceso está cumpliendo o no con las metas que fueron establecidas.

La planificación de la medición se da en tres etapas: la identificación de componentes del proceso, la selección y definición de las medidas de productos y procesos, y la integración de los resultados de medición en la organización con los procesos de desarrollo de software existentes. La siguiente figura ilustra la secuencia de estas etapas.



FIGURA 8. Las Principales Actividades de Planificación de la Medición

Florac William A, Carleton Anita D. MEASURING THE SOFTWARE PROCESS: STATISTICAL PROCESS CONTROL FOR SOFTWARE PROCESS IMPROVEMENT. Año 1999.

3.8 Selección y Definición de Medidas en el Proceso de Desarrollo de Software

La selección y definición de medidas son dos componentes diferentes pero estrechamente relacionados con las actividades. Una cosa es seleccionar una medida, como el número de defectos que podría utilizar para caracterizar un proceso o producto. Otra muy distinta es crear una definición de una medida, una vez que se ha seleccionado.

Se debe tener comprensión y claridad de los factores que pueden influir en la selección de las métricas. El siguiente procedimiento puede ayudar a desarrollar una comprensión de muchos de estos factores, de modo que se puedan elegir las medidas adecuadas. Es importante tener en cuenta que el objetivo es encontrar medidas que proporcionen información pertinente.

1. Aclarar los componentes. Asegurarse que se entienden todos los aspectos y dimensiones. Poner los componentes en el contexto de:
 - La lista de las preguntas que se están realizando actualmente sobre el proceso o el subproceso.

- La lista de las preguntas que necesitan ser contestadas (aun cuando no sean preguntas).
 - Identificar qué se está pidiendo, por qué y para qué (para asegurarse que los usuarios entenderán los resultados de la medición).
 - La identificación de los elementos de tiempo en relación con el proceso y las mediciones.
2. Identificar procesos críticos y no críticos. Una vez se hayan identificado los procesos críticos, se entran a mirar los demás procesos cuyos resultados puedan ser pertinentes.
 3. Revisión de los procesos. Se debe determinar cuáles procesos deben ser medidos, los procesos que tengan algún riesgo o incertidumbre deben ser los primeros candidatos a ser medidos y analizados.
 4. Para cada proceso, seleccionar las entidades y los atributos que deben medirse y los datos que deben recopilarse.
 5. Se debe probar la utilidad de las medidas seleccionadas, indicadores, cuadros y gráficos, que mostrarán el propósito de uso de las mediciones que se obtengan.

La Tabla 2 y 3 brindan una amplia visión (pero no completa) de las entidades a considerar cuando se realiza un proceso de medidas.

TABLA 2. Ejemplos de Entidades cuantificables en un Proceso de Desarrollo de Software

Cosas recibidas	Actividades	Gastos	Recursos	Producto
De otros procesos Ideas. Conceptos.	Procesos Análisis de requerimientos. Diseño. Codificación. Testeo. Control de configuración. Control de cambios. Admin. De problemas. Inspección. Integración.	De recursos Esfuerzo Materiales Energía Dinero Tiempo	Gente Servidores Herramientas Materiales Datos Conocimiento Experiencia	Requerimientos Especificaciones Diseños Unidades Módulos Casos de prueba Resultados Documentación Defectos Materiales
De Recursos Gente Energía Dinero Tiempo.				
De directrices Políticas Procedimientos Metas Reglas Leyes Regulaciones Instrucciones	Buffers Colas Pilas			Sub - Productos Conocimiento Experiencia Habilidades Mejoras Datos Buena Voluntad

TABLA 3. Ejemplos de Atributos cuantificables Asociados con Entidades del Proceso Software

Cosas recibidas o usadas	Gastos	Producto
De cambios Tipo Fecha Tamaño # de avances	De esfuerzo # horas de desarrollo # horas de soporte # horas de capacitaciones # horas de reuniones	Estado de unidades de trabajo # de unidades asignadas # de unidades codificadas # de unidades revisadas
De reporte de problemas Tipo Fecha Tamaño Origen Severidad # de reportados		Tamaño de las unidades # de requerimientos # líneas de código # de módulos # objetos Tamaño de la BD
De fondos Dinero Presupuesto Estado	De tiempo Fecha de inicio Fecha final Duración de los procesos Tiempos de espera	Salidas Cantidad de módulos o funcionalidades. # defectos encontrados
De recurso humano Años de experiencia Preparación Pericias		Resultados del testing # casos probados % cubrimiento del testing
Del Ambiente Espacio de trabajo Nivel de ruido Iluminación # personas por cubículo Horas de computador usadas % de la capacidad utilizado	De dinero Costo a la fecha Variabilidad en los costos Costo repetir trabajo	Problemas y Defectos # reportes Densidad Tipo Origen # abiertos # cerrados
		Utilización critica de recursos % Memoria usado % CPU usado % I/O usado

3.9 Definición de las Medidas del Proceso

Para hacer la selección de los atributos a medir en el proceso se deben evitar ciertas actividades que pueden llevar a tomar malas decisiones en la toma de las métricas; si los atributos no son elegidos correctamente, la información recopilada podría no ser adecuada y los resultados del análisis estadístico podrían arrojar resultados no esperados. Se debe tener en cuenta que los usuarios tienen diferentes necesidades a la hora de medir los datos. Los datos reunidos para un propósito pueden no ser apropiados para otro propósito distinto, ya que pueden presentar incompatibilidades en el momento de medirlos o analizarlos, o simplemente pueden no arrojar información relevante para el proceso. Ahora bien, si una organización tiene definida las prácticas de recolección de datos y estas funcionan adecuadamente, las prácticas no deben ser cambiadas para satisfacer necesidades particulares.

3.10 Integración con el Proceso Software

Consiste en integrar las métricas definidas con el Proceso de Desarrollo Software. Esta etapa está conformada por tres pasos: análisis, diagnóstico y acción. El análisis implica la identificación de las métricas que la organización recopila y la forma como se están utilizando. El diagnóstico mediante la evaluación de las métricas identifica las necesidades y determina los trabajos adicionales que deben realizarse. Por último, la acción, está dirigida a traducir los resultados de los análisis y el diagnóstico en los planes de acción.

3.11 Análisis de la Medición

El análisis de medición busca identificar e interpretar los procesos en curso, fortaleciéndolos, y reorientándolos cuando sea necesario.

Al analizar las métricas existentes, se deben realizar preguntas, tales como:

- ¿Qué elementos de datos son necesarios para las medidas?
- ¿Cuáles son recogidos ahora?
- ¿Cómo se recolectan?
- ¿Qué datos deben proporcionar los procesos?

DIAGNÓSTICO

El diagnóstico, mediante la evaluación de los datos que la organización está recopilando, determina qué tanto están los procesos orientados a cumplir los objetivos, y proponen medidas apropiadas, para:

- La utilización de los datos.
- Los datos se adapten a las necesidades.

Medidas para integrar las mediciones

Acción mediante la cual se realiza una traducción de los resultados del análisis y diagnósticos. Se refiere a la búsqueda de soluciones, e incluye la identificación de las tareas, asignación de responsabilidades y recursos.

3.12 Estrategias de Medición

Se preparan las estrategias y acciones de contingencia. El paso a seguir ahora es documentar las estrategias, las cuales deben traducir sus objetivos en acciones operativas, y a su vez deben estar relacionadas con cada métrica y orientada al cumplimiento de los objetivos; se debe describir el alcance de los esfuerzos y las relaciones funcionales con otras actividades; definir las tareas, responsabilidades y recursos necesarios, proporcionar el seguimiento y la gestión de riesgos, y establecer los marcos y recursos para mantener éxito de la operación y la evolución de ésta. Se debe tener en cuenta que no hay necesidad de involucrar todas las métricas en un único proceso, se pueden generar varios subprocesos, los cuales facilitarían la aplicación y sostenimiento de las actividades del proceso en general. Con el paso del tiempo, las necesidades cambiarán. Con una estrategia modular, dividida en subprocesos, y con

métricas correctamente adecuadas a los atributos del mismo, será más fácil de actualizar, ampliar y sustituir la estrategia de medición.

Algunas cosas que se deben hacer antes de documentar las estrategias, son:

- Identificar las fuentes de datos existentes dentro del proceso de desarrollo de software.
- Definir los métodos que se utilizarán para recopilar y transmitir los datos.
- Identificar (y especificar) las herramientas que serán necesarias para reunir y almacenar los datos.
- Documentar los procedimientos de recopilación de datos en detalle:
 - Determinar dónde, cómo y cuándo reunir la información.
 - Identificar las personas responsables dentro de la organización.
 - Determinar quién utilizará los datos.
- Definir cómo los datos serán analizados y su puesta en común para el análisis posterior.

3.13 Recolección de Datos

Las actividades operacionales de la medición comienzan con la recolección y mantenimiento de los datos. Los procedimientos definidos deben ser integrados entre el software y los procesos operativos. Esto significa poner a las personas y herramientas adecuadas en los lugares correctos. También significa la captura y el almacenamiento de los datos para su posterior utilización en el análisis y mejora de procesos.

Las principales tareas asociadas con la recolección y el mantenimiento de los datos para la gestión en el Proceso de Desarrollo de Software, son las siguientes:

- Diseñar los métodos y obtener las herramientas que se utilizarán para apoyar la recolección y almacenamiento de los datos.
- Obtener y capacitar al personal que llevará a cabo los procedimientos de recopilación de datos.
- Captura y registro de los datos en cada proceso al cual está destinada la medición.

- Supervisar la ejecución, cumplimiento y ejecución de las actividades de recopilación y almacenamiento de los datos.
- Definir y utilizar los formatos de suministro de los datos a los individuos y los grupos que llevan a cabo los análisis.

3.14 Especificaciones en la Recolección de Datos

Una vez se hayan seleccionado y definido las medidas, se comienza con la recolección de datos.

La recolección de datos es algo más que tomar medidas, consiste en implantar y aplicar estrategias de medición previamente definidas, asegurando que el análisis y el mantenimiento de las métricas provean los resultados esperados y permitan realizar predicciones respecto elementos futuros de proceso.

Documentar los procedimientos implica:

- La identificación de las personas responsables de la implantación y la aplicación de las estrategias.
- Especificar dónde, cuándo y cómo se harán las mediciones.
- Definir los procedimientos que se utilizarán para registrar e informar los resultados.

La complejidad en la recopilación de datos aumentará si un proceso es muy robusto y no es adecuadamente dividido en subprocessos; a medida que la organización presente más proyectos para la Gestión Cuantitativa, la complejidad aumentará también, no sólo por la cantidad adicional de métricas sino por que se espera más del resultado del análisis y de las predicciones.

Las métricas que se utilicen para evaluar la estabilidad y la capacidad del proceso deben prestar especial atención a cuatro cuestiones importantes:

- Secuencia de tiempo. El orden en que se hacen las observaciones es información crucial para la estimación de la variabilidad inherente en un proceso. Además, el conocimiento de la secuencia y de sus relaciones permite identificar causas

asignables en la variación de un proceso. Esto ayuda mucho en la identificación de las causas y la prevención de recurrencias. Se debe asegurar que cualquier medición recogida vaya acompañada de los registros de la secuencia de observaciones. También es de gran ayuda que se refieran a la secuencia de tiempo y de cualquier evento que puedan afectar los valores medidos.

- Contexto de datos. Para analizar los gráficos de control se requiere información acerca del contexto en que los datos fueron producidos, con el fin de interpretar correctamente el registro de los resultados que se trazan en los gráficos. Por lo tanto, debe ir acompañado de preguntas, como:
 - ¿Qué es lo que representan los valores individuales? ¿Cuáles son estos números?
 - ¿Cómo y cuándo fueron obtenidos los valores?
 - ¿Qué fuentes de variación están presentes en los datos?
- Redondeo de los valores de los datos. Se debe garantizar que la escala de medición y registro de los datos son apropiados y que registraron valores que no son redondeados de manera inadecuada.
- Medición de la estabilidad. Incluir nuevas métricas al proceso puede afectar la estabilidad. Para incluirlas, deben ser analizadas y ser congruentes con las métricas originales de la estrategia de medición.

La recolección de datos es un proceso. Al igual que cualquier otro proceso, debe ser supervisado para garantizar no sólo que los datos están siendo recogidos, sino que cumplen con ser oportunos, completos, auténticos, exactos. En resumen, el proceso de recolección de datos es estable y bajo control si los resultados son fiables. Esto implica que el rendimiento del proceso de medición en sí, también debe ser medido.

3.15 Examinar y Evaluar los Datos Obtenidos

Antes de comenzar el análisis de los datos de medición, hay ciertos criterios que se deben cumplir para que el análisis tenga credibilidad:

Criterio 1: Verificación

Verificar los datos que han sido examinados para asegurar que se han recolectado de acuerdo con las especificaciones y no contienen errores. Normalmente, se certifica que los valores reportados son:

- Del tipo correcto (numérico, alfanumérico). A menudo, algunos elementos pueden ser sólo numéricos, otros elementos pueden limitarse a la utilización de ciertos caracteres o símbolos, lo importante es verificar que son compatibles con las especificaciones.
- En el formato correcto. La mayoría de los datos a tratar deben estar especificados en los formatos definidos para el proceso de medición. Fechas, valores monetarios, nombres de productos, nombres de proceso, identificadores de subproceso o producto, tiempos, herramientas, y prioridades, son ejemplos de los datos que pueden estar especificados en los formatos.
- Dentro de rangos especificados. Muchos tipos de datos recogidos pueden ser objeto de un examen de validación de rangos. Deben ser corregidos antes de que se establezca una base de datos no válida.
- Completa. Los datos de medición deben contener los elementos esenciales, las definiciones asociadas y la información contextual que se necesita para comprender e interpretar los valores de los datos.
- Aritméticamente correcto. Si los datos contienen valores que se derivan de operaciones aritméticas, se debe verificar que las operaciones aritméticas se han realizado correctamente.

Criterio 2: Sincronización

La noción de sincronización de mediciones es particularmente importante cuando se miden los atributos de un proceso o cuando, utilizando los atributos de los productos y los recursos, se describe el desempeño de un proceso.

Criterio 3: Consistencia

Las inconsistencias en la forma de obtener mediciones pueden dar lugar a fallas en el análisis. Los ejemplos incluyen:

- Las estructuras de desglose de trabajo, las definiciones de medición y el cambio en definiciones del proceso de proyecto a proyecto.
- Cambios en el personal que pueden afectar la dedicación a las tareas ya asignadas.

Criterio 4: Validez

En el nivel más básico, se debe ser capaz de demostrar que los valores utilizados para describir un atributo, realmente describe el atributo de interés. Para que esto sea cierto, las mediciones deben estar bien definidas.

Sin suficientes y coherentes definiciones en todos los puntos en el proceso de medición, los datos no pueden considerarse válidos para representar lo que se pretende.

3.16 La Conservación de los Datos

La conservación de los datos en sí implica la creación y el uso de una o más bases de datos para organizar y guardar los datos para su uso posterior. Dependiendo de la naturaleza de las actividades de medición, esto puede ser una tarea sencilla o muy compleja y técnicamente exigente. En cualquiera de los casos, es importante considerar el sistema de retención de datos que serán empleados. Por ejemplo, mientras que las formas impresas puede ser suficiente para algunos en la recolección de datos, la experiencia ha demostrado que los formularios en papel son a menudo insuficientes para el mantenimiento y la agregación de los resultados medidos.

3.17 Gestión de Componentes de Datos

Un proyecto de gestión de base de datos, si es que existe, bien puede servir como base para mantener la gestión del proceso de medición. Esto es algo que se considera en serio antes de comprometerse a desarrollar un proceso de gestión de base de datos.

3.18 Análisis del Comportamiento del Proceso

El análisis es el segundo paso en la fase operativa de un proceso de medición. En este paso se describen e ilustran algunas herramientas de análisis importantes, y se muestra cómo las herramientas pueden ser utilizadas para ayudar a evaluar la estabilidad, la capacidad y el rendimiento de un proceso o actividad de software.

Los conceptos a ser analizados posteriormente, se refieren principalmente a la Gestión Cuantitativa del Proceso de Software, con el uso de Gráficos de Control, para mejorar el rendimiento y garantizar capacidad del proceso. Los Gráficos de Control son una técnica para el análisis de la estabilidad, la capacidad, y rendimiento del proceso. Los Gráficos de Control se deben utilizar en un contexto estadístico amplio, y asociar los objetivos que se han establecido con las actividades que se realizan para alcanzar dichos objetivos.

3.19 La Estructura de los Gráficos de Control

Los clásicos gráficos de control tienen una línea central y límites de control a ambos lados de la línea central. Tanto la línea central y los límites que representan las estimaciones se calculan a partir de un conjunto de observaciones recogidas, mientras que el proceso se está ejecutando. La línea central y los límites de control no se pueden asignar arbitrariamente, ya que están destinados a revelar su actual nivel de rendimiento.

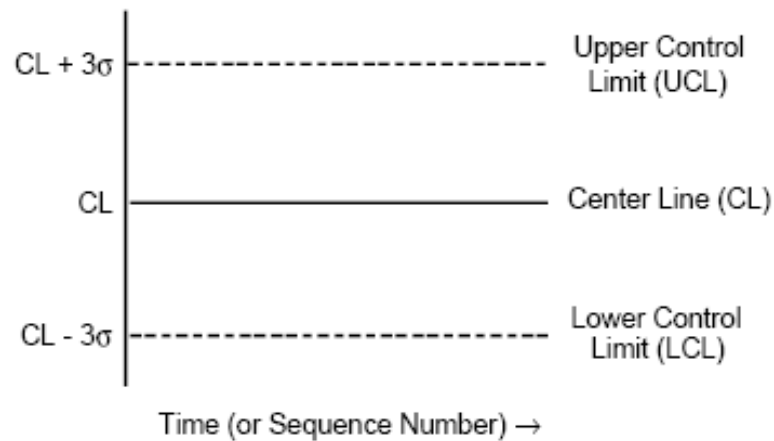


FIGURA 10. Estructura de un Gráfico de Control

3.20 Variación en el Rendimiento del Proceso

La estabilidad del proceso es un concepto que tiende a estar en el centro de la Gestión Cuantitativa del Proceso de Desarrollo de Software.

La variación en un proceso software se da por dos causas: las Causas Comunes, conocidas como fenómenos naturales e inherentes al proceso y cuyos resultados son comunes a todas las mediciones de un determinado atributo; y las Causas Asignables, que son externas al proceso en sí.

A manera de ecuación, el concepto puede ser visto, como:

$$[\text{Variación Total}] = [\text{Causas Comunes de Variación}] + [\text{Causas Asignables de Variación}]$$

La variación debida a causas comunes es la variación normal del proceso, debidas a interacciones inherentes entre los componentes del proceso (personas, máquinas, material, medio ambiente, y métodos). Esta variación se caracteriza por ser estable en el tiempo; esto se puede evidenciar en la siguiente gráfica.

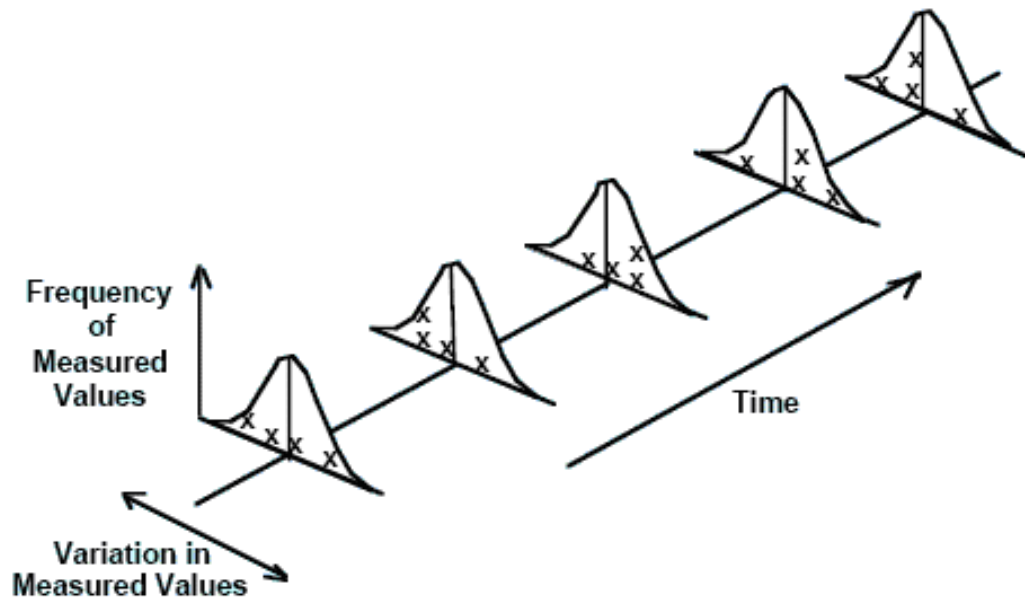


FIGURA 11. Concepto de Variación Controlada

Florac William A, Carleton Anita D. MEASURING THE SOFTWARE PROCESS: STATISTICAL PROCESS CONTROL FOR SOFTWARE PROCESS IMPROVEMENT. Año 1999.

Las causas comunes producen variación al azar, pero dentro de límites previsibles. Cuando un proceso es estable, los valores medidos de las variaciones provienen de un sistema constante de causas al azar. Este contiene las causas que se crean debidas a una causa común o a la variación del ruido. En este sistema la variación es previsible, y son pocos los resultados inesperados.

Cuando un proceso es constante y estadísticamente controlado, pero aun así presenta variaciones de calidad en el producto final y las causas de esta variación se desconocen, es porque el proceso posee causales de variación que le son ajenas al proceso normal de desarrollo; y estas causas son llamadas asignables. [Shewhart]

Las variaciones debidas a Causas Asignables han marcado impactos sobre las características de los productos y otras medidas del rendimiento del proceso. Estos impactos crean cambios significativos en los patrones de variación.

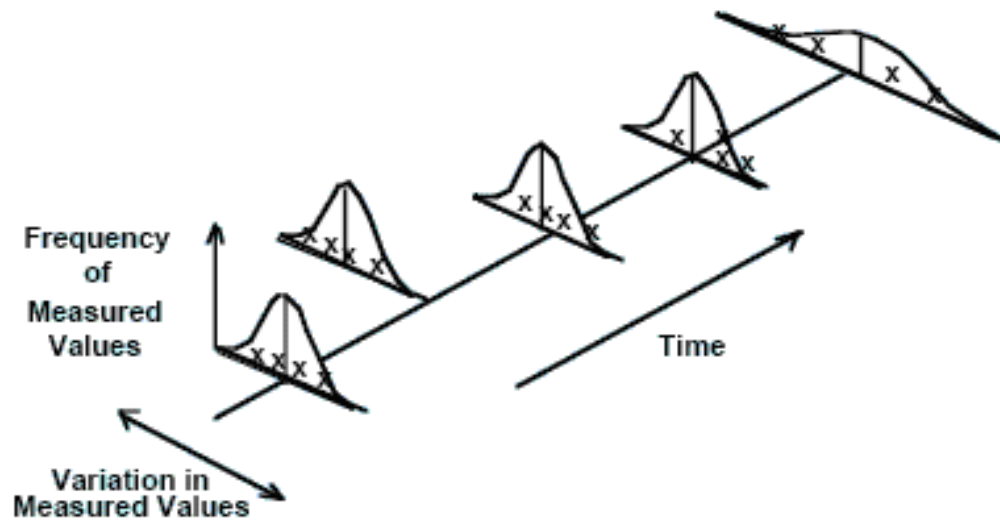


FIGURA 12. Concepto de Variación No Controlada o Variación Debida a Causas Asignables

Florac William A, Carleton Anita D. MEASURING THE SOFTWARE PROCESS: STATISTICAL PROCESS CONTROL FOR SOFTWARE PROCESS IMPROVEMENT. Año 1999.

Las variaciones debidas a causas asignables surgen de acontecimientos que no son parte del proceso normal. Representan repentinos o persistentes cambios en los insumos para el proceso, el medio ambiente, las etapas del proceso, o la forma como las etapas del proceso son ejecutadas. Incluir cambios en la calidad de las materias primas, la inadecuada formación de personas, los cambios en entornos de trabajo, error en la herramienta, modificación en los métodos, son ejemplos de causas asignables de variación.

Cuando todas las causas asignables se han eliminado y han sido prevenidas, el sistema posee procesos y subprocessos estables y predecibles.

La estabilidad de un proceso en relación con un determinado atributo se determina mediante la medición del atributo y el seguimiento de los resultados en el tiempo. Si una o más mediciones quedan fuera de las posibilidades de la gama de variación, o si los patrones sistemáticos son evidentes, el proceso no puede ser estable. Se deben buscar estas causas y eliminarlas, para lograr la estabilidad.

3.21 Proceso de Evaluación de Estabilidad

- Sin el conocimiento del desempeño de un proceso no se cuenta con la manera de distinguir el ruido que acompaña las señales en los datos. Esto puede conllevar la toma de acciones inapropiadas.
- Sin saber qué tan estable es el nivel de rendimiento, no se cuenta con ninguna base para reconocer las causas asignables.
- Si no contamos con ningún proceso repetible estable, no contaríamos con ninguna base de referencia para mejora de otros procesos.

Por lo tanto, podemos concluir que la estabilidad es la base de la mejora continua y del desempeño de los procesos, por lo cual debe garantizarse para asegurar la mejora futura y la credibilidad de los modelos de predicciones.

3.22 Conceptos y Principios de Estabilidad

En un proceso estable, las fuentes de variabilidad se deben únicamente a causas comunes. Todas las variaciones en un proceso estable son causadas por factores inherentes que forman parte del proceso en sí mismo. Variaciones debido a "causas asignables", tales como los causados por errores del operador, los cambios ambientales, las desviaciones del proceso, y el cambio de características en materiales y recursos, se intentan retirar del proceso, impidiéndose actuar sobre el proceso (si es perjudicial) o incorporado como una parte permanente del proceso (si es beneficioso).

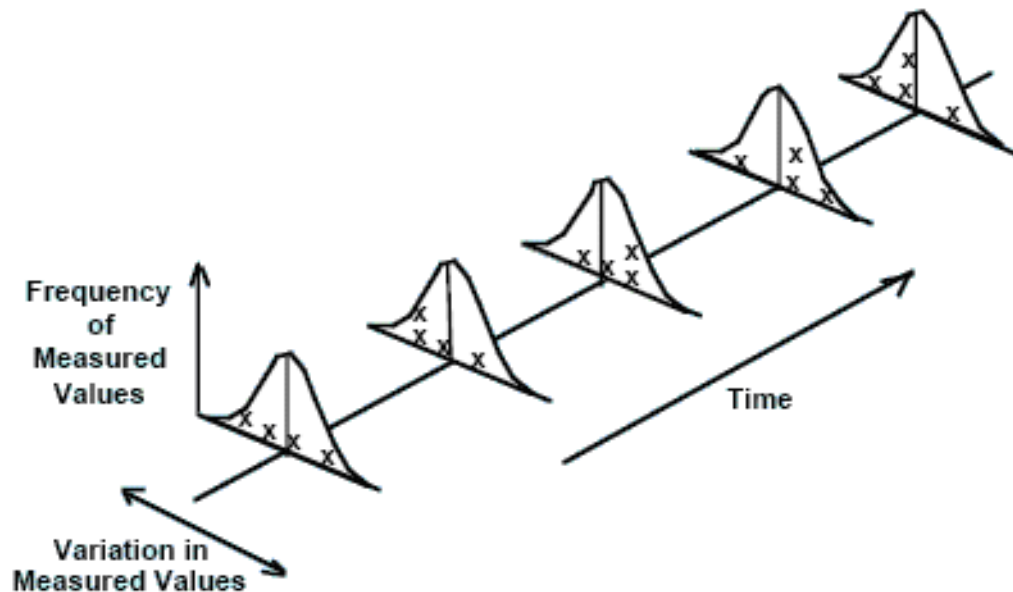


FIGURA 13. Proceso Estable Bajo Control Estadístico

Florac William A, Carleton Anita D. MEASURING THE SOFTWARE PROCESS: STATISTICAL PROCESS CONTROL FOR SOFTWARE PROCESS IMPROVEMENT. Año 1999.

Cada "X" en el gráfico representa un valor medido de una característica dada de un proceso o subproceso. Este ejemplo muestra medidas aleatorias de cuatro unidades de un proceso genérico, en cinco puntos en el tiempo. La localización de las "X" representan los valores medidos dentro de cada subgrupo. Diferentes valores se observaron en cada punto de muestreo debido a la inherente variabilidad del proceso (causa común de variación). Las curvas representan la distribución de la variabilidad de las medidas de cada unidad del proceso, cada curva tiene la misma tendencia central y dispersión; como el proceso es estable, la curva representa la misma distribución del proceso en cada uno de los puntos que se mide. El proceso se mantendrá estable, mientras la distribución sigue siendo la misma.

3.23 Pruebas de Estabilidad

Para poner a prueba la estabilidad de un proceso se tiene que saber cómo ocurren los valores dentro de las muestras en cada punto de medición, comparándolos con la

variabilidad que se observa a partir de una muestra a otra. Más concretamente, se debe determinar si la variación a lo largo del tiempo es coherente con la variación que se produce dentro de las muestras, también se debe detectar posibles desviaciones o cambios en la tendencia hacia la media de los valores medidos.

Mirando la Figura 13, se ve que la variabilidad en cada punto de muestreo es posible que se de únicamente a una causa común de variación.

En la Figura 14 se muestran los resultados de los valores ilustrados en la figura anterior. La primera parte de la figura es llamada "X-bar." o promedios (Average). Los cambios en los promedios muestran la variación observada y su tendencia hacia la media de un subgrupo a la siguiente. Del mismo modo, la gama de valores dentro de cada subgrupo puede ser calculada y trazada, como se muestra en la parte inferior de la figura. Este gráfico es llamado gráfico R (Range) o gráfico de rango, y muestra la dispersión observada al interior de cada uno de los subgrupos, es decir lo dispersos que se encuentran los valores uno del otro.

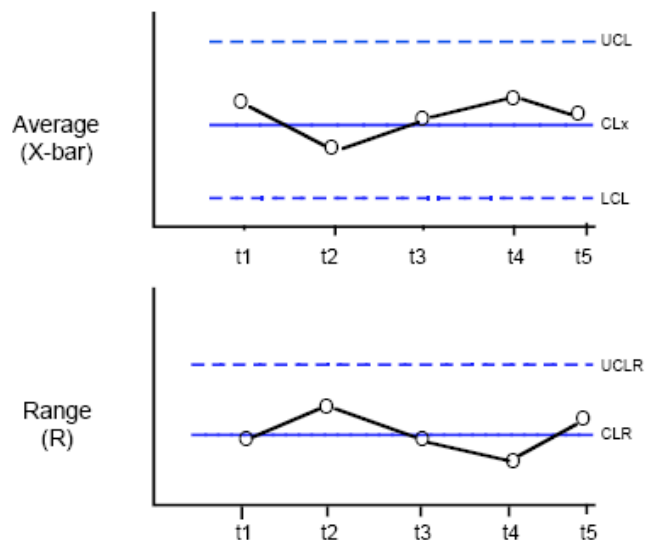


FIGURA 14. X-bar y R para un Proceso que se Encuentra Bajo Control

Florac William A, Carleton Anita D. MEASURING THE SOFTWARE PROCESS: STATISTICAL PROCESS CONTROL FOR SOFTWARE PROCESS IMPROVEMENT. Año 1999.

Los Gráficos de Control que se ilustran en la figura anterior muestran la forma como el proceso se ha comportado con respecto a un producto o proceso durante el periodo que se examina. El gráfico R dice que el rango de cada subgrupo (diferencia entre el menor y el mayor valor en ese subgrupo) no superará el límite UCLR (límite superior de control). Al mismo tiempo, el gráfico X-bar muestra que ninguno de los promedios del subgrupo cayó fuera de la parte superior o inferior a los límites de control (UCL) para los promedios.

Por el contrario, la Figura 15 muestra un proceso que está fuera de control. Trazando los valores, se observa que el "X-bar" muestra que el promedio del segundo subgrupo está por encima del límite superior de control (LSC). Esta observación por sí sola es suficiente para sugerir que el proceso contiene variaciones. El subgrupo también supera al límite superior en el valor "T5" del gráfico de rangos, y esta es otra indicación de que una o más causas asignables pueden haber afectado el proceso, y que por lo tanto, el proceso está fuera de control.

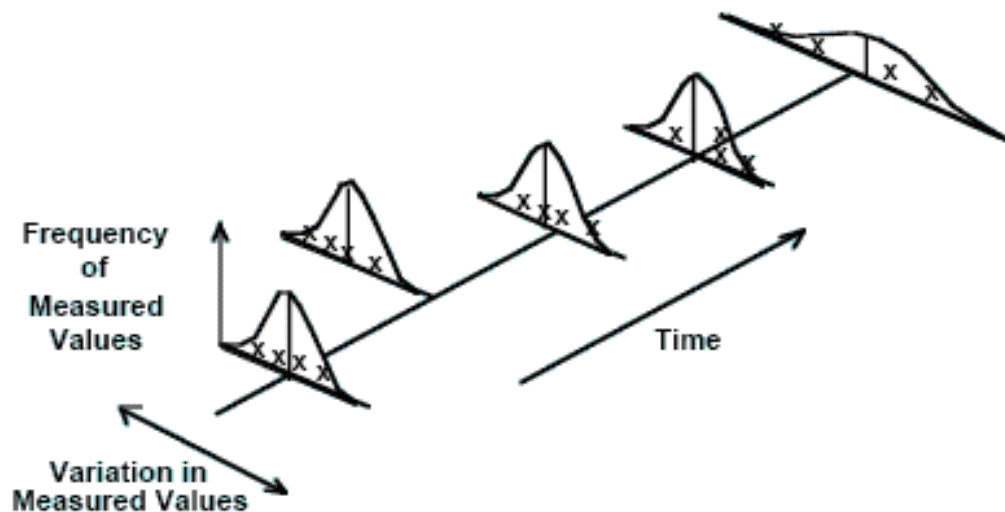


FIGURA 15. Proceso Fuera de Control

Florac William A, Carleton Anita D. MEASURING THE SOFTWARE PROCESS: STATISTICAL PROCESS CONTROL FOR SOFTWARE PROCESS IMPROVEMENT. Año 1999.

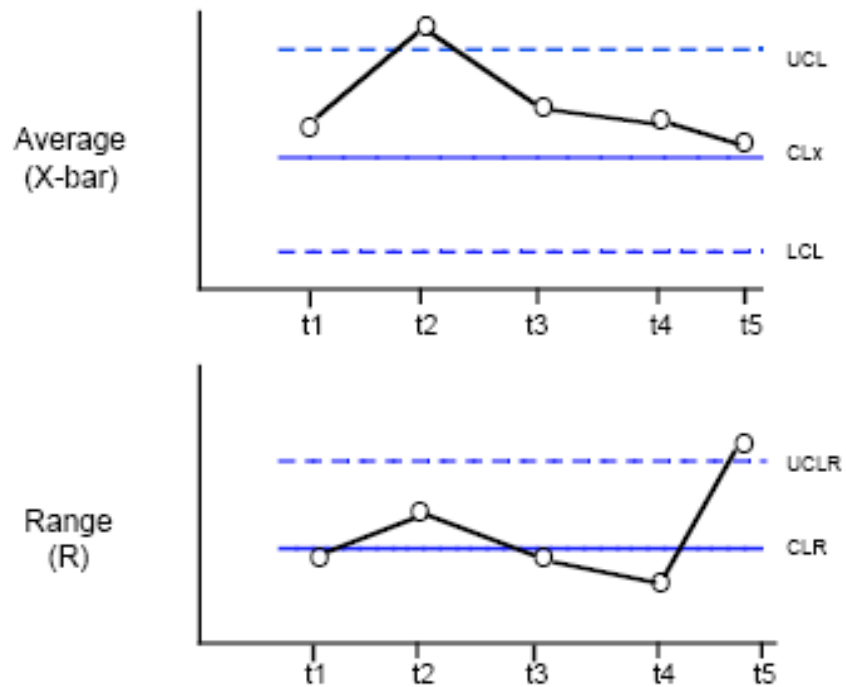


FIGURA 16: X-bar y R para un Proceso Fuera de Control

Florac William A, Carleton Anita D. MEASURING THE SOFTWARE PROCESS: STATISTICAL PROCESS CONTROL FOR SOFTWARE PROCESS IMPROVEMENT. Año 1999.

Si la variabilidad y los resultados obtenidos son tales que el proceso, aunque estable, produce productos no conformes, se dice que el proceso es incapaz, y debe ser mejorado.

3.24 La Estabilidad, un Proceso de Investigación

La Figura 18 muestra los pasos involucrados en la averiguación de la estabilidad de un proceso.

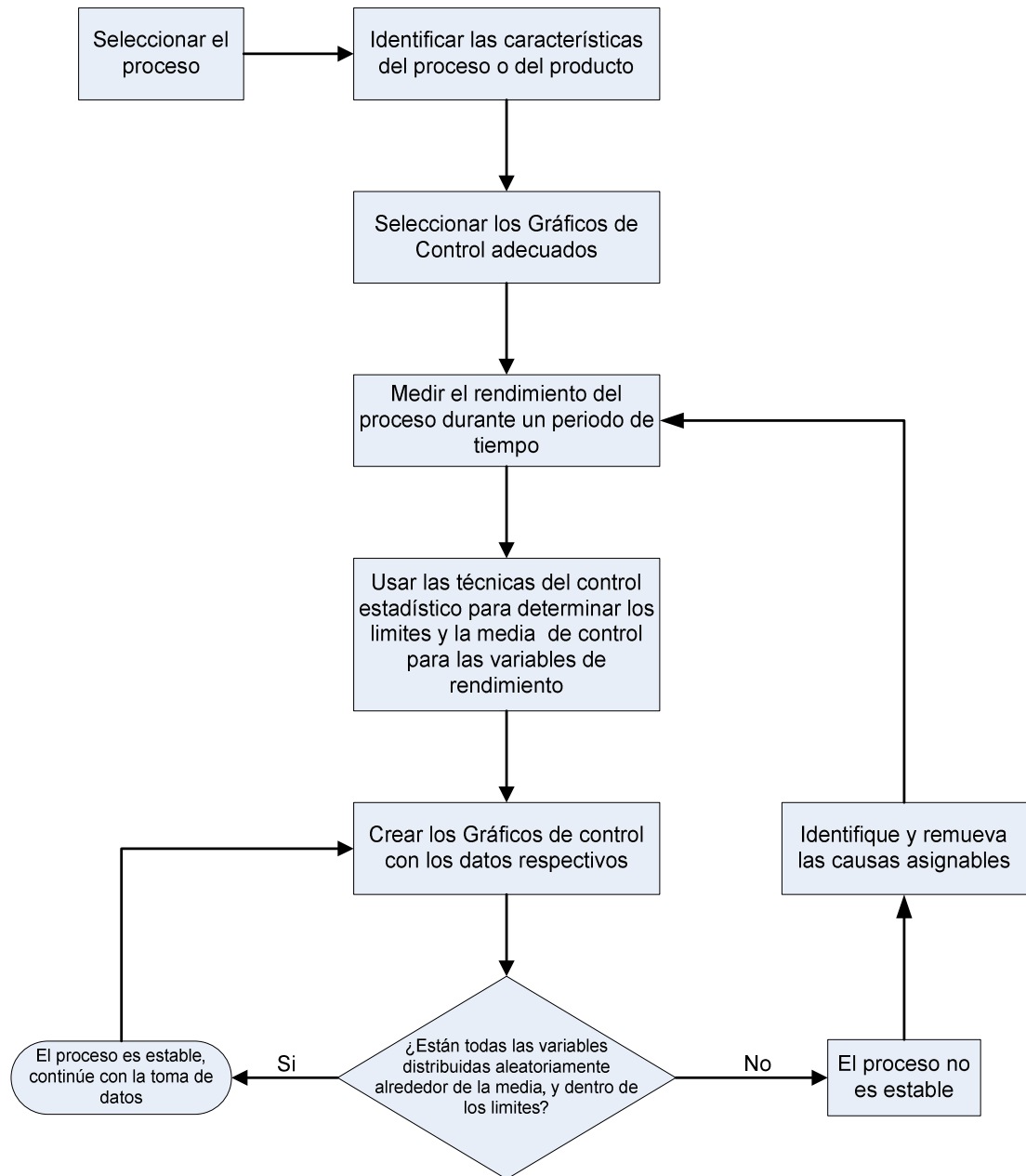


FIGURA 17. Pasos para usar los Gráficos de Control como Herramienta para Evaluar la Estabilidad de un Proceso Software

4. INFORMACIÓN ADICIONAL DEL COMPORTAMIENTO DE LOS GRÁFICOS DE CONTROL

4.1 La Construcción de Gráficos de Control con Datos Limitados

Entre los factores utilizados para calcular los límites de control, desempeñan un papel importante el número de subgrupos k y el subgrupo de tamaño n . La cantidad de datos que se recogen a menudo, determinan el tamaño y número de los subgrupos. Por lo cual surge la siguiente pregunta: "¿Cuántos son suficientes?", es decir, la cantidad de datos que se deben tener antes de que se pueda comenzar a calcular los límites de control?

Para probar la estabilidad de los procesos es conveniente basar los cálculos en un mínimo de 25 a 30 subgrupos, si se está usando \bar{x} -bar y gráficos R ; ó 40 a 45 si se está utilizando gráficos $\bar{X}mR$. La razón de esto es que un gran número de subgrupos reduce la influencia que unos pocos valores extremos puedan tener sobre los límites establecidos.

Se debe ser prudente en la interpretación de los resultados iniciales. Si se utiliza sólo unos pocos subgrupos, es posible que la gama dentro de un subgrupo pueda aumentar la distancia entre la línea central y los límites de control de la tabla de promedios, lo que aumenta el riesgo.

El subgrupo de tamaño " n " también afecta el cálculo de límites de control. Como el tamaño de subgrupo aumenta, se necesitan más observaciones para determinar si un proceso está en control. Aumentar el tamaño del subgrupo hace los límites de control sean más sensible a pequeños cambios en el proceso. Esto puede ser deseable en algunas situaciones; por lo general, es importante para reducir al mínimo la cantidad de variabilidad dentro de los subgrupos.

4.2 Revisar y Actualizar los Límites de Control

Revisión. La revisión de los límites del gráfico de control, busca encontrar si uno o más puntos de datos quedan fuera del límite calculado. Si se cree que los valores que están por fuera de los límites se deben a causas asignables, se pueden establecer puntos y calcular nuevos límites. Este proceso de eliminación de cálculo de puntos, se puede repetir hasta que todos los puntos sin conocer las causas asignables se encuentran dentro de los límites a calcular.

Actualización. La actualización de los límites de los gráficos de control, consiste en realizar una reconfiguración de los límites del gráfico. La necesidad de actualización se puede producir si se inició el control con menos datos de los que se hubiera deseado, o si el proceso se ha observado que ha cambiado, o si un deliberado cambio se ha hecho en el proceso. En estos casos, se deben calcular los límites mediante el uso de los nuevos datos recogidos y las mediciones obtenidas con anterioridad. Cuando el proceso ha cambiado, sin embargo, o cuando se ha hecho un cambio deliberado en el proceso, los datos recogidos anteriormente ya no pueden ser aplicables.

4.3 Comportamiento del Proceso con Patrones Anómalos

Hay muchos casos en que el reconocimiento de un patrón anómalo, ya sea por encima de los límites o no, es útil para los diagnósticos que se requieren para hacer modificaciones de mejora del proceso. El Manual de la Western Electric, proporciona 15 descripciones de los patrones más comunes en los gráficos de control, como una guía para la interpretación de gráficos de control. Seis de estos patrones aparecen con frecuencia en un entorno de software, y se discuten brevemente a continuación.

- **Ciclos.** Se caracterizan por los patrones repetitivos. Los valores se tienden a repetir con una serie de altos y bajos, y los mismos intervalos de valores regulares son una indicación de la presencia de una causa asignable. Estos intervalos

regularmente pueden apuntar a la variable del proceso que causa el patrón cíclico, este patrón puede ser observado en promedio (\bar{x}), rango (R).

Los procesos de variables tales como el esfuerzo, los sistemas de apoyo, y la rotación de personal, son fuentes probables de este tipo de causa asignable.

- **Tendencias.** Las tendencias se caracterizan por un cambio gradual en el nivel, constantemente en la misma dirección. La tendencia no se considera anómalo a menos que no vaya en la dirección esperada o deseada. En algunas ocasiones, la dirección de los puntos no puede ser determinada fácilmente de forma visual desde los gráficos; cuando esto ocurre, es necesario utilizar un método formal de inferencia estadística, como el análisis de regresión o un método similar, para determinar la pendiente de la tendencia. La tendencia y los gráficos en general, pueden evidenciar un cambio gradual en una de las principales variables de proceso.
- **Rápido cambio de nivel.** Un rápido cambio de nivel se produce cuando hay un aparente, repentino y duradero cambio de valores en una sola dirección, la mayoría de los cuales se deben a causas asignables del proceso, ya sea un cambio hacia arriba o hacia abajo. Los cambios en el proceso pueden verse en las gráficas de rango. Los Nuevos procedimientos, cambios de personal, nuevas características del producto, pueden provocar cambios significativos a cualquiera de las variables del proceso y los cambios en el sistema de apoyo o herramientas de programación, son ejemplos de cambios en el proceso que pueden dar lugar a este patrón.
- **Mezcla inestable.** Una mezcla es la prueba de la presencia de diferentes distribuciones causadas por la existencia de dos o más causas en el sistema. Se puede pensar en mezclas cuando existen uno o más subprocessos a los que se les toma medidas. Cuando las mezclas son evidentes, la forma más eficaz para analizar el proceso de ejecución es observando los datos por separado para cada uno de los sistemas. Una forma de hacerlo es por medio de histogramas, y buscar las colecciones de datos dentro de las distintas distribuciones.

- **Bunching o agrupación.** El agrupamiento se caracteriza porque la mayoría de los valores aparecen en un mismo grupo, o muy cercanos entre sí. La agrupación de estos valores indica una introducción repentina de nuevas causas, a menudo se producen en dobles o triples secuencias. Cuando se produce la agrupación, se agrupan de manera que se pueda identificar el motivo de las causas asignables.
- **Estratificación.** Un patrón de estratificación por lo general tiene pequeñas variaciones entre los puntos de datos centrales. La estratificación se produce cuando los datos de dos diferentes sistemas se mezclan en el mismo subgrupo.

En resumen, las formas como los datos son recogidos y organizados, determinan el comportamiento que se refleja en un Gráfico de Control. La variación en subgrupos es lo que determina la sensibilidad del Gráfico de Control. Uno de sus principales objetivos a la hora de elegir los subgrupos es hacer que la variación dentro de los grupos sea lo más pequeño posible, esto significa prestar atención no sólo a cómo se agrupan las observaciones, sino también cómo y cuándo los datos son recogidos; por lo tanto, es importante tener en cuenta las posibles fuentes de variación y organizar los datos en subgrupos, ayudando a atender las preguntas que tienen relación con la estabilidad, capacidad, y mejora de los procesos de desarrollo.

5. CAMINOS PARA LA MEJORA DEL PROCESO

Cuando las mediciones del rendimiento del proceso se representan gráficamente, los resultados apuntan en tres direcciones:

1. Eliminar las causas asignables. Cuando el proceso no es estable (o casi), la correcta acción es identificar las causas asignables de la inestabilidad y tomar medidas para prevenir las causas de forma recurrente.

2. Cambiar el proceso. Si el proceso es estable, la acción más adecuada es identificar, diseñar y aplicar los cambios necesarios que harán capaz el proceso. Se debe tener en cuenta que la modificación de un proceso se transforma en un nuevo proceso y que el nuevo proceso debe estar sometido a un control estable antes de que la capacidad del proceso entre a ser evaluada.

3. Mejorar continuamente. Si el proceso es estable y capaz, la acción más adecuada es buscar formas de mejorar continuamente el proceso, de modo que se reduzca la variabilidad, costo y tiempo de ciclos de mejora.

5.1 Encontrar y Corregir las Causas Asignables

Cuando se encuentra un proceso que no es estable, se debe tratar de encontrar las causas asignables con el fin de tomar medidas para evitar que se repitan. Encontrar las causas asignables se pueden pensar como el equivalente de la búsqueda de la causa de un fallo de software. Para empezar, se puede reunir a un grupo de personas que trabajan en el proceso y llevar a cabo una lluvia de ideas sobre las posibles razones para el inusual comportamiento.

También se puede encontrar parámetros claves para medir y ejecutar con el fin de ver si algo raro está sucediendo. Por ejemplo, cuando el control de los insumos se encuentra fuera de control, esto impulsará a la búsqueda de causas y medidas correctivas a los

puntos anteriores en el proceso general. Paralelamente, los flujos de entrada de artículos similares supuestamente también pueden ser fuentes de comportamiento errático cuando las entradas tienen diferentes características. Los síntomas a menudo se presentan como estratificaciones en el control de los gráficos del proceso.

El conocimiento del medio ambiente y lo que ha venido sucediendo dentro de la organización, puede proporcionar valiosa información sobre la naturaleza de las causas asignables. Pero lo más importante es la ayuda que estas brindan para generar hipótesis de lo que sucede, con el fin de poner a prueba la hipótesis y apoyar o eliminar factores específicos, como lo son las causas asignables.

5.2 El Incumplimiento como una Causa Asignable

Significa que el cumplimiento de normas y prácticas existen y son seguidos. Cumplimiento también significa que el proceso se apoya de manera adecuada y que la organización es capaz de ejecutar el proceso. Cuando un componente del proceso no funciona de manera constante; según las normas de proceso, esta falta de cumplimiento pueden ser la causa de la inestabilidad y esto se ve reflejado en los resultados del proceso.

En la siguiente Tabla, se enumeran algunos aspectos a examinar, a la hora de buscar causas de incumplimiento:

TABLA 4. Aspectos de Cumplimiento y Posibles Fuentes de Incumplimiento

Aspectos de Cumplimiento	Posibles fuentes que afectan el cumplimiento
Adhesión al Proceso	<ul style="list-style-type: none"> • El conocimiento y la comprensión del proceso • existencia de estándares explícitos • entrenamiento adecuado y efectivo • Herramientas apropiadas • Metas demasiado ambiciosas
El uso de las personas, herramientas, tecnología y procedimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad de personal y tecnología calificado • Experiencia • Entrenamiento • Asimilación
El uso de los sistemas de soporte	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad • Capacidad • Tiempo de respuesta • Fiabilidad
Factores Organizacionales	<ul style="list-style-type: none"> • Rotación de personal • Cambios en la organización • Cambio de locación • Reducción de personal • Problemas internos

El establecimiento y mantenimiento de líneas base de la información sobre el cumplimiento puede ayudar en la búsqueda de causas asignables; es importante resaltar que las desviaciones de las líneas base son posibles fuentes de inestabilidad cuando se presentan en la ejecución (puesta en marcha) de un proceso.

La información histórica es un punto de referencia, cuando esta información no está disponible, se pueden empezar a medir distintos aspectos de cumplimiento a fin de obtener datos que arrojen información sobre posibles orígenes de inestabilidad en el proceso.

5.3 Capacidad del Proceso

Cuando un proceso es estable (está bajo control estadístico), sus resultados son predecibles.

El histograma en la Figura 18, es una reunión de frecuencias de las mediciones obtenidas a partir de un proceso estable. El histograma muestra la distribución empírica de las mediciones, del tiempo transcurrido entre la evaluación de un problema y su resolución. Como la variación se debe exclusivamente a causas obtenidas al azar, la media y los límites de control que se muestran en la figura representan lo que el proceso es capaz de llevar a cabo, ya que son actualmente definidas y ejecutadas.

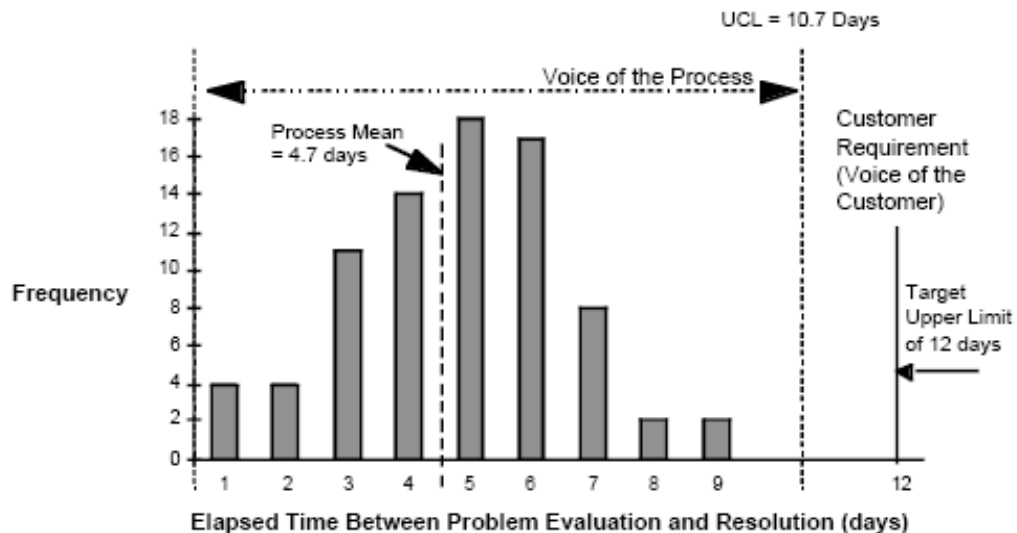


FIGURA 18. Histograma que Refleja la Capacidad del Proceso

La siguiente figura ilustra el comportamiento del proceso vs los requerimientos del proceso:

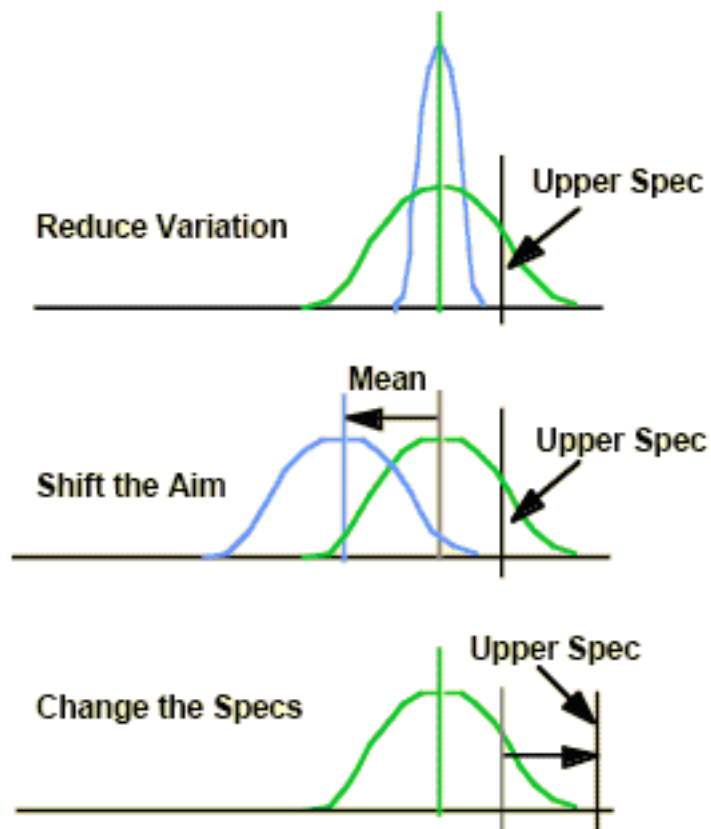


FIGURA 19. Comportamiento del Proceso Vs. Requerimientos del Proceso

Florac William A, Carleton Anita D. MEASURING THE SOFTWARE PROCESS: STATISTICAL PROCESS CONTROL FOR SOFTWARE PROCESS IMPROVEMENT. Año 1999.

Por lo tanto, cuando un proceso es estable y conforme a los requisitos, es lo que se denomina que un proceso es capaz. Dado esto, la capacidad depende tanto de la estabilidad del proceso como de su capacidad para ajustarse a las necesidades del cliente. El tener claro conocimiento de la capacidad del proceso es esencial para la predicción de la calidad de los productos, logrando ser competitivos con las necesidades de los clientes.

5.4 Mejoras e Inversiones

Los objetivos de negocio y las estrategias, junto con datos sobre los atributos de la calidad de los productos y el rendimiento del proceso, son los principales conductores a acciones que mejoren un proceso software. Sin embargo, sólo la identificación de los cambios que se necesitan para mejorar un proceso no es suficiente. También se deben mirar los beneficios que justifiquen los costos asociados con el cambio en el proceso.

Los ejemplos incluyen los costos de formación y los costos de equipo adicional, las nuevas herramientas de programación, y así sucesivamente. La recuperación de la inversión económica no puede ser la única medida adecuada para cuantificar el valor de cambios en el proceso. Estudios recientes han llegado a la conclusión de que los indicadores financieros por sí solos no podrán ser suficientes para juzgar el rendimiento de las empresas o para justificar la inversión en cambios en el proceso.

La siguiente figura ilustra el rendimiento para procesos del negocio:

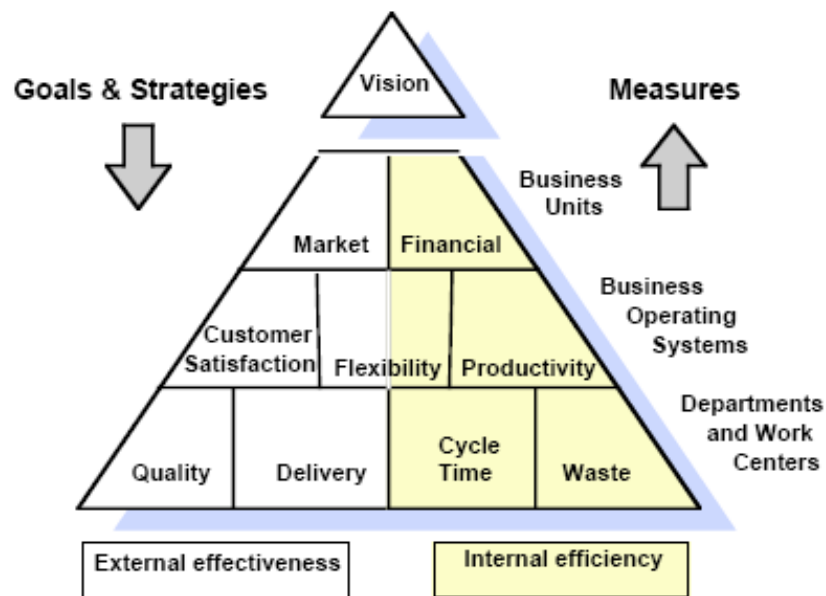


FIGURA 20. Pirámide de Rendimiento para Procesos del Negocio

Florac William A, Carleton Anita D. MEASURING THE SOFTWARE PROCESS: STATISTICAL PROCESS CONTROL FOR SOFTWARE PROCESS IMPROVEMENT. Año 1999.

La figura sugiere que la satisfacción del cliente, la flexibilidad y la productividad son las fuerzas motrices en las que los objetivos de la compañía se basan. Estas son controladas por diversos indicadores, como sugiere la siguiente tabla.

TABLA 5. Ejemplos de Indicadores para Procesos de Negocio

Satisfacción del cliente	<ul style="list-style-type: none"> • Rata de renovación de licencias • Numero de licencias nuevas • Numero de nuevos consumidores • Numero de quejas • Calificaciones del cliente
Flexibilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimento de citas • Entrega a tiempo • Tiempo de salida al mercado • Holgura para acomodarse a los cambios de diseño • Cantidad de procesos comunes • Cantidad de productos nuevos
Productividad	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción en los costos de producción o del servicio • Reprocesamiento de las labores como un porcentaje del trabajo total. • Relación costo – ingresos. • Relación tiempo de desarrollo Vs. Tiempo de vida del producto.

La tabla también señala que muchas de las mediciones del rendimiento del proceso se obtienen directamente a partir de las mediciones que se llevan a cabo a partir del comportamiento de los procesos en el desarrollo de los proyectos que hace la organización.

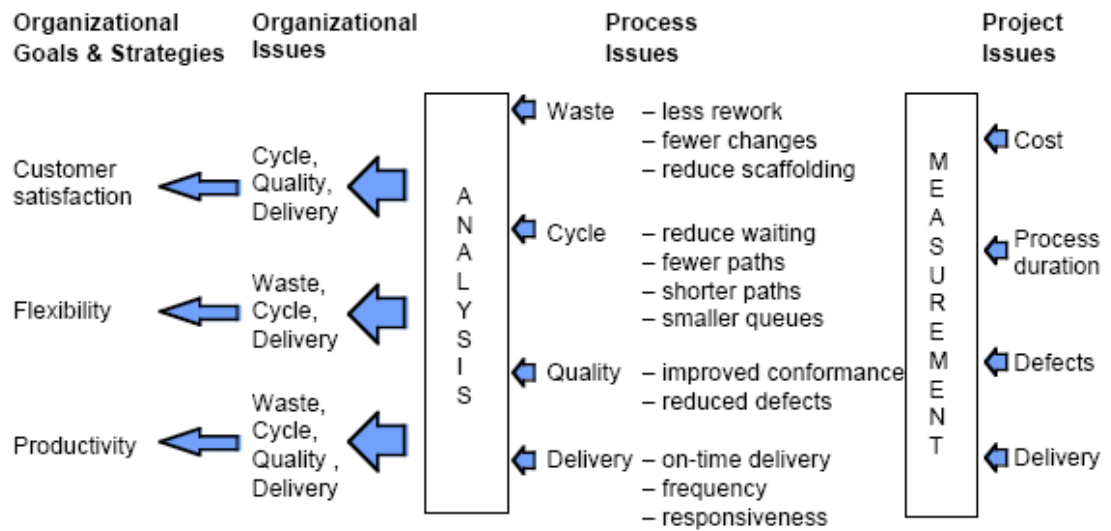


FIGURA 21. Indicadores de Satisfacción Flexibilidad y Productividad

Florac William A, Carleton Anita D. MEASURING THE SOFTWARE PROCESS: STATISTICAL PROCESS CONTROL FOR SOFTWARE PROCESS IMPROVEMENT. Año 1999.

6. EMPEZANDO LA GESTIÓN CUANTITATIVA DEL PROCESO SOFTWARE

Entonces, ¿Cómo se puede empezar a aplicar CEP? Diez pasos para empezar:

1. Familiarizarse con las técnicas de control estadístico del proceso. Orientarse con las cuestiones claves, conceptos, y técnicas para la aplicación de CEP a la Gestión Cuantitativa del Proceso Software y actividades de mejora.

2. Obtener una herramienta que puede realizar cálculos de CEP y generar los Gráficos de Control. Si bien es importante comprender los conceptos, fórmulas y cálculos, será útil encontrar una herramienta que pueda ayudar a realizar el análisis, sobre todo con grandes cantidades de datos. Es muy importante tener en cuenta que si se usa una herramienta para ayudar a la síntesis de los datos y/o generar los Gráficos de Control, se deben entender el principio detrás de los cálculos a fin de evitar errores de análisis.

3. Identificar las cuestiones cruciales del proceso. No es práctico ni razonable (o conveniente) para aplicar CEP analizar cada problema del Proceso Software. Sin embargo, es importante identificar los factores críticos que determinan si los procesos cumplen las metas que se han establecido. Identificar los procesos críticos, por ejemplo, los procesos que han experimentado problemas en el pasado, o se ejecutan a través de los límites organizativos, o la utilización de una tecnología, sirven como principales candidatos a procesos críticos.

4. Identificación de los atributos de rendimiento del proceso. Los atributos asociados con la calidad del producto, duración del proceso, la entrega del producto, proceso y costos, son importantes para la mayoría de las organizaciones y comunes a todos los procesos de software.

5. Seleccionar y definir métricas. Seleccionar métricas para caracterizar un proceso o un producto que proporcionará la información pertinente a los componentes que se han identificado en el paso 3. Crear definiciones operativas para garantizar que las diferentes

personas apliquen las medidas correctamente y constantemente, y también para asegurar que los datos se interpreten correctamente.

6. Recopilar datos. Una vez que se haya seleccionado y definido las medidas y su aplicación, se puede comenzar la recolección de datos. La complejidad de los procesos de recopilación de datos aumentará a medida que nuevos proyectos u organizaciones se añaden para investigar los procesos implicados.

7. Organizar los datos y garantizar que los principios CEP se cumplan. Garantizar que la obtención de los datos son resultados representativos del proceso y así certificar que su utilización se centrará en aplicar CEP.

8. Gráfico de datos. Comprender si se está trabajando con variables o atributos de datos. Seleccionar el gráfico de control apropiado, basado en el proceso y los datos.

9. Examinar cada uno de los gráficos, observar estabilidad y cambios del proceso, y las causas asignables. Si el proceso no es estable, entonces no se puede determinar la capacidad del proceso. Tampoco hay base para predecir los resultados. El resultado de acción es entender por qué el proceso no es estable y determinar qué medidas pueden adoptarse para lograr la estabilidad. Si el proceso es estable, entonces la capacidad del proceso puede ser determinado y se utiliza para predecir.

10. Ejecutar análisis adicionales como la situación lo requiere. Por supuesto, una vez que el proceso es estable y capaz, el objetivo es mejorarlo continuamente.

7. ESTUDIO ENUMERATIVO Vs. ESTUDIO ANALITICO

7.1 ESTUDIO ENUMERATIVO

Un estudio enumerativo es una acción generada dentro de un marco de estudio. La muestra es el marco que define la población.

En la Ingeniería de Software, algunos ejemplos de estudio enumerativo, incluyen:

- Inspecciones de los módulos de código para detectar y contar los defectos existentes.
- Sistema de pruebas de un producto de software para determinar el nivel en que un producto tiene ciertas cualidades.
- Medición de tamaño de software para determinar el estado del proyecto o la cantidad de software bajo el control de configuración.
- Medición de horas de trabajo del personal dedicado, a fin de que los resultados puedan ser utilizados para generar el presupuesto.

Nota: el objetivo de un estudio enumerativo es determinar "cuántos" en lugar de "por qué tantos".

Un estudio enumerativo da respuestas a preguntas como:

- ¿Cuántos defectos se han encontrado inspeccionando el código de producto?
- ¿Cuántos informes se han recibido con problemas de los clientes?
- ¿Cuántos empleados hay en nuestra organización?
- ¿Qué porcentaje ha recibido capacitación en métodos de diseño orientado a objetos?
- ¿De qué tamaño fueron los últimos cinco productos que se entregaron?
- ¿Cuál fue el tamaño medio del código de inspección el año pasado?

- ¿Cuántas horas promedio fueron dedicadas de personal a la revisión de software en un periodo de tiempo?

Los estudios enumerativos no están diseñados para predecir los resultados que podrían obtenerse a partir de diferentes marcos de muestreo, ya sea ahora o en el futuro. Este estudio puede permitir reducir los errores de muestreo en poblaciones reducidas.

En un estudio analítico, por otra parte, es imposible calcular el riesgo de tomar una decisión equivocada, no importa el número de puntos de datos que se obtienen.

Los pasos para recopilar y analizar los datos de medición para un estudio enumerativo, son los siguientes:

1. Definir el objetivo del estudio.
2. Definir las características o propiedades de interés.
3. Definir la población objetivo.
4. El marco sobre el cual será tomada la muestra será definido, por:
 - La obtención o el desarrollo de una lista específica o de otro tipo de enumeración de la población de donde se seleccionarán las muestras (esta población a menudo no es idéntica a la población objetivo).
 - Describir el entorno en el que cada atributo va a ser medido.
5. Evaluar las diferencias entre el marco de muestreo y la población objetivo, e identificar los posibles efectos que las diferencias podrían tener sobre las conclusiones del estudio.
6. Definir, con claridad y precisión, el atributo que se medirá, las métricas y las escalas que se utilizarán, y la manera como se tomarán.
7. Diseñar y ejecutar un procedimiento de muestreo que garantice que las entidades a ser medidas sean tomadas al azar y representen a la población objetivo.
8. Examinar y evaluar la toma de datos.
9. Identificar las demás hipótesis que se utilizarán al hacer inferencias, incluyendo cualquier hipótesis de una distribución subyacente (como la Normal, Binomial,

Poisson, Exponencial) y todas las hipótesis relacionadas con la representatividad de valores del muestreo.

10. Asegurar que las herramientas y los métodos utilizados para el análisis son coherentes con la naturaleza de los datos.
11. Asegurar que quienes vayan a hacer uso de las inferencias arrojadas por el estudio son conscientes de las limitaciones implícitas (estadísticamente hablando) de suponer las inferencias.

7.2 ESTUDIO ANALÍTICO

El objetivo del estudio analítico es predecir y mejorar el comportamiento del proceso en el futuro. Cuando se lleva a cabo un estudio analítico, se utilizan los datos de un proceso existente para predecir rendimiento futuro, ya sea del mismo proceso o de procesos similares.

La mayoría de los análisis de las medidas de apoyo a la gestión de procesos son los estudios analíticos. Esto no quiere decir que los estudios enumerativos nunca se usen.

Los ejemplos de estudios analíticos, incluyen:

- Evaluación de herramientas de software, tecnologías o métodos del proceso, con el fin de seleccionar los más adecuados para el debido desarrollo del proceso a futuro.
- Seguimiento de la rata de descubrimiento de defectos para predecir las fechas de los lanzamientos del producto.
- Identificar y evaluar las áreas donde más se presentan defectos para enfocar el desarrollo de mejoras en ellas.
- Predicción de los tiempos, costos, y de la fiabilidad operativa.

Los estudios analíticos requieren hipótesis de que el proceso sobre el cual se desea hacer inferencias es estadísticamente idéntico al cual se seleccionó la muestra.

En la realización de estudios analíticos siempre se debe tratar de considerar un entorno lo más amplio posible. Esto significa hacer frente en la medida de lo posible, a toda la gama en la que los insumos, recursos, personal y condiciones de funcionamiento pueden ser encontrados en el futuro.

DIFERENCIAS

En un estudio enumerativo se pueden elaborar fórmulas para la inducción y para la estimación de las incertidumbres en la población, utilizando una muestra en lugar de un censo completo.

Los estudios analíticos difieren de los enumerativos en que el muestreo puede tener lugar a través del tiempo. Cuando este es el caso, por lo general es recomendable realizar una muestra de períodos relativamente largos, ya que las observaciones tomadas en períodos cortos son menos propensas a ser representativas de la población.

El concepto de control estadístico es importante para los estudios analíticos. Cuando el proceso está en control estadístico, los datos actuales se pueden tomar para inferir sobre el futuro rendimiento del proceso.

Muchos de los estudios analíticos son dinámicos por naturaleza, ya que se analizan las muestras observadas durante un período de tiempo, y los resultados se utilizan para orientar los cambios en un proceso. Los cambios pueden ser para el propósito de estabilizar el proceso (control estadístico de procesos), alcanzando una meta deseada (control de procesos industriales), o mejorar el proceso (la reducción de la variabilidad o reiniciar el proceso para un objetivo más rentables). En la configuración del software, la mayoría de los estudios se dirigen a la predicción de eventos que tendrán lugar en el futuro.

8. MEDICIONES, INDICADORES, Y PREDICCIONES

Una **Medición** en el Proceso de Desarrollo de Software se define como la información obtenida de un dato luego de ser filtrada de ruido.

Ejemplos de estas Mediciones pueden ser:

- Número líneas de código
- Número de paginas de documentación
- Número de horas - hombre
- Número de casos de prueba
- Número de requerimientos

Un **indicador** se define como el comportamiento de una medición en el tiempo o la relación de dos mediciones definidas. Los indicadores pueden incluir la comparación de los valores reales en relación con el plan

Algunos ejemplos de indicadores, pueden ser:

- Tareas completadas, actuales vs planeadas
- Número de líneas de código * horas hombre
- Número de líneas defectuosas por mil líneas de código
- Número de problemas reportados y resueltos en el tiempo
- Número de requerimientos cambiados en el tiempo.

MODELO DE MÉTRICAS, INDICADORES Y PREDICCIONES

DE PROGRESO.

Proveen información del proyecto respecto a las tareas y el calendario de actividades del proyecto.

Los indicadores de progreso proporcionan información sobre qué tan bien se está realizando el proyecto con respecto a las tareas planeadas, completadas, y el cumplimiento de las actividades del calendario. Las métricas en las tareas actuales son comparadas con las tareas planeadas, y la diferencia indica la desviación respecto al plan.

El análisis de este tipo de indicadores puede predecir la duración de una tarea específica en proyectos futuros, además de la duración total necesaria para el desarrollo de un proyecto, de acuerdo con las tareas especificadas.

Ejemplos de indicadores:

Tareas completadas (actuales vs. calendario)

Duración de una tarea (tiempo) (actual vs. Planeado)

Construcción de la Gráfica:

Acumulación de tareas completadas en el tiempo,

DE ESFUERZO.

Proveen una visión general de la contribución de las personas respecto a los costos del proyecto, calendario de actividades y calidad del producto.

Los indicadores de esfuerzo permiten hacer seguimiento al recurso de personal, proveen una visión de la contribución del recurso humano al costo de un proyecto de desarrollo de

software. Además, estos indicadores muestran la cantidad de esfuerzo, (cantidad de recurso de personal) usado para cumplir las tareas.

Los indicadores de esfuerzo pueden ser usados en todos los niveles de la Gestión Cuantitativa del Proceso de Desarrollo de Software para medir el desempeño actual con lo planeado, estos indicadores deben ser aplicados durante todo el ciclo de vida del proyecto. Las Métricas de esfuerzo deben recopilarse y reportarse al menos una vez en cada uno de los ciclos del proceso. El análisis de este tipo de indicadores permite predecir la cantidad de recurso humano necesario para un proyecto futuro, además de la inversión en recurso humano necesaria.

Determinar el número de personal necesario para una actividad en cualquier momento del proceso es una función muy importante de la Gestión del Proceso Software. Sumando la cantidad de personal durante cada sub-periodo del proceso, se puede determinar el perfil de personal para un proyecto futuro.

Se debe tener en cuenta que las métricas de esfuerzo se consideran como un gasto no acumulativo de recurso humano, y las métricas de costo miden la acumulación del tiempo del recurso humano (esfuerzo) y la convierten en valor monetario. Las métricas de costo son una apreciación acumulativa del esfuerzo.

Ejemplos de indicadores:

Personal usado en el proyecto actualmente Vs. Personal planeado.

Horas de desarrollador Vs. Tareas.

Construcción de la Gráfica:

Horas de recurso humano (no acumuladas) en el tiempo.

DE COSTOS.

La gestión de los costos es una actividad importante para el logro de los objetivos de un proyecto de desarrollo de software, y la labor del equipo de trabajo es el componente principal del costo del proceso software. La gestión debe definir cuánto trabajo se requiere

en cada área del proceso, determinar el nivel de pericia necesario para desarrollar las tareas del área, y usar estimativos para determinar los costos en el tiempo.

Los costos están relacionados con el indicador de esfuerzo, en la medida que un costo está definido como una acumulación del gasto de esfuerzo.

El análisis de las métricas y los estimativos de costos proveen información del seguimiento de los costos actuales y los costos estimados, y permiten predecir los costos de las tareas que componen un proceso y del total del costo de los proyectos futuros, además de los sobre costos que se generarían debido a retrasos en el desarrollo, o costos por tareas adicionales del proyecto.

Ejemplos de indicadores:

Costos Actuales Vs. Costos Planeados.

Variación del costo presupuestado.

Construcción de la Gráfica:

Horas de recurso acumuladas (esfuerzo acumulado) en el tiempo.

REVISIÓN DE RESULTADOS.

La revisión de resultados provee retroalimentación al producto de software, se refiere a la inspección de defectos y los comentarios de los usuarios.

La revisión incluye lo siguiente:

- Inspecciones formales de los documentos del Software, o el código fuente.
- Evaluaciones informales del producto, (Guías, revisiones técnicas, etc.)
- Revisiones de gestión.
- Revisiones al proceso, (Auditorías SQA, estándares SEI - CMMI)

Estas son resultados de los errores encontrados en los “logs” de la aplicación, o de los defectos descubiertos en los procesos de inspección. Los indicadores de las inspecciones formales están dados por estándares:

- Número de defectos menores.
- Número de defectos mayores.
- Rata de detección de defectos.
- Estado del defecto (Abierto, en espera, resuelto, etc.)

El análisis de los indicadores de resultados permite predecir la variabilidad de los fallos en proyectos futuros mediante el resultado del análisis estadístico. También permite conocer la ocurrencia de los defectos actuales para suprimirlos en el futuro.

Ejemplos de indicadores:

Número de defectos en el tiempo.

Defectos encontrados Vs. Defectos Resueltos.

Construcción de la gráfica:

Número de defectos en el tiempo.

REPORTE DE DEFECTOS.

Proveen retroalimentación respecto a la calidad del producto y del proceso, y de la efectividad del proceso de pruebas. El reporte de defectos está ligado a la revisión de resultados y se usa para lograr mejor retroalimentación a los subprocesos del desarrollo.

El seguimiento de los indicadores de defectos reportados (DR) pueden mostrar las tendencias del proceso respecto a las siguientes áreas:

- La rata de DRs reportados contra los que son resueltos.
- El tipo y la severidad de los DRs

- La relación entre el número de DRs y el número de procesos de prueba necesarios para encontrarlos.
- La densidad de los DRs (número de DRs por tarea o por fracción del software.)
- Número de defectos en cada producto de Software hasta la versión estable.

Ejemplos de indicadores:

Estado de los reportes

Número de defectos (abiertos, resueltos, etc.) durante un periodo o una tarea.

Número de defectos con severidad crítica Vs. Número total de defectos.

Número de defectos Vs. Número de pruebas.

Construcción de la gráfica:

Número de DRs en el tiempo.

TABLA 7. Métricas Indicadores y Predicciones

Categoría	Retroalimentación	Indicadores	Predicciones
Progreso	Proveen información del proyecto respecto a las tareas y el calendario de actividades del proyecto.	<i>Tareas completadas (actuales vs. calendario)</i> <i>Duración de una tarea (tiempo) (actual vs. Planeado)</i>	Duración de una tarea, duración total necesaria para el desarrollo de un proyecto.
Esfuerzo	Proveen una visión general de la contribución de las personas respecto a los costos del proyecto, calendario de actividades y calidad del producto.	<i>Personal usado en el proyecto actualmente Vs. Personal planeado.</i> <i>Horas de desarrollador Vs. Tareas.</i>	Cantidad de recurso humano necesario para un proyecto futuro, la inversión en recurso humano necesaria para una actividad.
Costos	Los indicadores de costos proveen información acerca del seguimiento del comportamiento de los costos actuales respecto a lo	<i>Costos Actuales Vs. Costos Planeados.</i> <i>Variación del costo presupuestado.</i>	Costos de las tareas que componen un proceso, total del costo de los proyectos futuros, costos

	planeado, y pueden predecir los costos futuros.		adicionales que se generarían debido a retrasos en el desarrollo, costos por tareas adicionales del proyecto.
Revisión de resultados	La revisión de resultados provee retroalimentación al producto de software, se refiere a la inspección de defectos y los comentarios de los usuarios.	<i>Número de defectos en el tiempo. Defectos encontrados Vs. Defectos Resueltos.</i>	Variabilidad de los fallos en proyectos futuros mediante el resultado del análisis estadístico, ocurrencia de los defectos actuales para suprimirlos en el futuro.
Reporte de defectos	Proveen retroalimentación respecto a la calidad del producto y del proceso, y de la efectividad del proceso de pruebas.	<i>Estado de los reportes, número de defectos (abiertos, resueltos, etc.) durante el periodo.</i>	Problemas a corregir en proyectos futuros, posibles errores que puedan ocurrir según las tareas de un proyecto, efectividad del proceso de pruebas para futuros proyectos.

9. ANÁLISIS DE DATOS

INTRODUCCIÓN

El siguiente análisis de datos se realizó gracias a la colaboración de una empresa del medio y de la Ingeniera encargada quien facilitó la información, sirvió de apoyo a lo largo del proceso hasta la etapa de la retroalimentación del análisis.

Los datos acá consignados fueron tratados en su totalidad con propósitos académicos, y aunque su propósito es realizar una simulación de un caso de desarrollo de software real, y servir como apoyo metodológico a la implantación de la Gestión Cuantitativa en la empresa del medio, no refleja la realidad de la capacidad actual de sus procesos internos.

El análisis se llevo a cabo en tres etapas, definidos como: Puesta en común, Análisis y Retroalimentación.

Durante la etapa de Puesta en común se realizo una visita a la empresa y mediante una reunión con la Ingeniera se puso en común los objetivos del trabajo de grado, se realizó un acercamiento a los procesos de desarrollo en la empresa, se recopilaron datos de una manera macro para su posterior depuración, se propusieron métricas e indicadores temporales a ser objeto de análisis. En la etapa de Análisis se utilizaron las metodologías de la Gestión Cuantitativa del Proceso de Software para realizar el análisis de control estadístico, y capacidad del proceso, con los datos antes recopilados. Y en la etapa de retroalimentación se llevó a cabo otra reunión con la Ingeniera, en la cual se presentaron los resultados del análisis, las conclusiones y recomendaciones para el proceso en estudio, y por parte de la empresa del medio se consiguió aprobación del análisis, sugerencias para el trabajo de grado, y se mencionó un posible inicio parcial de la implantación mediante una nueva manera de analizar los datos gracias a lo propuesto en el análisis.

DESARROLLO

Análisis de datos para la variable “esfuerzo” en el desarrollo de un producto de software.
Los datos recopilados reflejan el esfuerzo en horas del equipo de trabajo, por día; de las tareas programadas en un tiempo de 16 semanas.

Subproceso específico “Diseño”

TABLA 8: Datos para el Subproceso de Diseño

	Sem	L	M	W	J	V
Ene 21 - 25	3	4.5	9	7.5	9	7
Ene 28- Feb 1	4	6	9	9	9	8.5
Feb 4 - 8	5	6.5	9	7	0	0
Feb 11 - 15	6	0	6.5	6.5	6.5	9
Feb 18 - 22	7	8	11	7.3	9	8.5
Feb 25 - 29	8	9	9	7.5	9	9
Mar 3 - 7	9	9	4.5	9.5	3.3	11
Mar 10 - 14	10	8	5	11.2	6.4	9
Mar 17 - 21	11	9	9	8.5	0	0
Mar 24 - 28	12	2.5	10	0	0	0

Análisis Cuantitativo de la Variable Esfuerzo

X-bar and Range - Initial Study for Effort Design task

X-bar Chart

UCL: +3.0 sigma = 10.5078

Centerline = 6.91

LCL: -3.0 sigma = 3.3122

Subgroup Reports

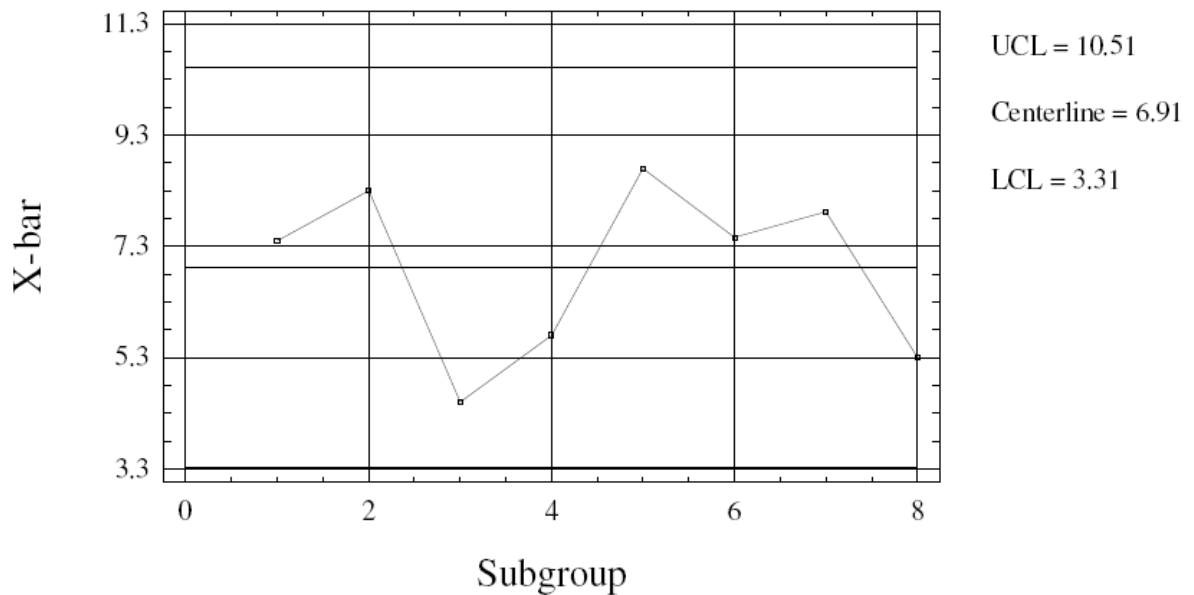
All Subgroups

X = Excluded * = Beyond Limits

Subgroup Size X-bar Range

1	5	7.4	4.5
2	5	8.3	3.0
3	5	4.5	9.0
4	5	5.7	9.0
5	5	8.7	1.5
6	5	7.46	7.7
7	5	7.92	6.2
8	5	5.3	9.0

X-bar Chart for Effort Design task



Nota: X-bar. Medido en horas/día.

Runs Tests

Rules

- (A) runs above or below centerline of length 8 or greater.
- (B) runs up or down of length 8 or greater.
- (C) sets of at least 5 subgroups with at least 4 beyond 1.0 sigma.
- (D) sets of at least 3 subgroups with at least 2 beyond 2.0 sigma.
- (E) sets of at least 15 subgroups at or within 1.0 sigma.
- (F) sets of at least 8 subgroups beyond 2.0 sigma.

Violations

No Violations

Debido a que no hay violaciones a los parámetros anteriores, ninguno de los subgrupos está por fuera de los criterios de control, por lo tanto **el subproceso de diseño se encuentra bajo control estadístico.**

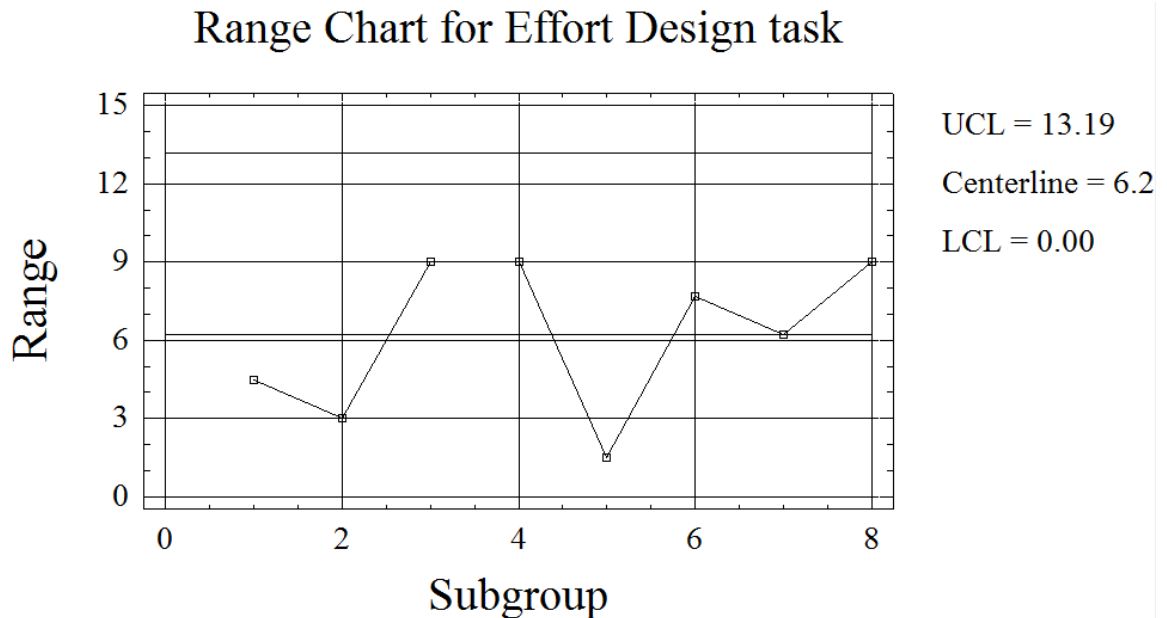
El Rango muestra la diferencia entre las medidas dentro de un subgrupo, un rango alto conlleva a problemas de capacidad del sub-proceso.

Range Chart

UCL: +3.0 sigma = 13.1883

Centerline = 6.2375

LCL: -3.0 sigma = 0.0



Nota: el Rango está medido en horas / hombre

Aunque el subproceso se encuentra bajo control estadístico, encontramos que en algunos de los subgrupos el rango es muy alto ($r > 6$) lo que sugiere que los valores de las horas/día dedicadas al subproceso de diseño entre los diferentes días de la semana son muy variables, lo que puede conllevar a afectar la capacidad del proceso y no cumplir a cabalidad las especificaciones del proyecto.

Recomendación: Estandarizar las horas de trabajo dedicadas al proyecto, para que sean constantes en los diferentes días. Ej.: Si se agenda 9 horas diarias de trabajo del grupo para el diseño, tratar que realmente se cumplan las 9 horas de trabajo diarias, y manejar un estándar. (Evitar que un día trabajen menos horas y “pagarlas” después)

Capacidad del Proceso

La capacidad del proceso indica qué tanto el proceso actual puede cumplir a cabalidad y a tiempo los objetivos, entre más alto sea el indicador (Cp) más “capaz” es el proceso.

$$Cp = 2.25 > 1$$

El proceso es capaz, y puede cumplir las especificaciones. Pero si el rango se disminuye, el indicador aumenta y se producirán menos problemas tales como: retrasos en entregas, horas extras dedicadas a finalizar una labor, gasto adicional de recursos dedicado al diseño.

Análisis Cuantitativo del Esfuerzo Total

Datos de las primeras 16 semanas, referentes al esfuerzo, medido en horas-staff x día.

TABLA 9: Datos para la Variable Esfuerzo

Ene 7 - 11	1	0	10.25	9	13.5	10.5
Ene 14 - 18	2	17	22	19.5	15	14
Ene 21 - 25	3	25	30	31.8	34	28.6
Ene 28- Feb 1	4	26	12.5	26.5	23.5	28
Feb 4 - 8	5	20	20.2	18.5	22.5	21.5
Feb 11 - 15	6	30.9	33	29.3	29.6	33.9
Feb 18 - 22	7	31.7	29.7	15.2	41.3	27.3
Feb 25 - 29	8	33.7	33.7	32.1	35.2	30.2
Mar 3 - 7	9	33.7	27.3	36.9	33.6	39
Mar 10 - 14	10	40.7	38.8	43.3	42	42.3
Mar 17 - 21	11	45.5	52.5	53.2	0	0
Mar 24 - 28	12	0	75.5	76	81.5	82.6
Mar 31 - Abr 4	13	73	53	55.6	61	65
Abr 7 - Abr 11	14	45.5	61.3	63.3	61.3	66.6
Abr 14 - Abr 18	15	66.1	65.5	62	50.2	53.5
Abr 21 - Abr 25	16	64	69	68	72.1	71.7

X-bar Chart

UCL: +3.0 sigma = 55.9084

Centerline = 43.1727

LCL: -3.0 sigma = 30.4369

All Subgroups

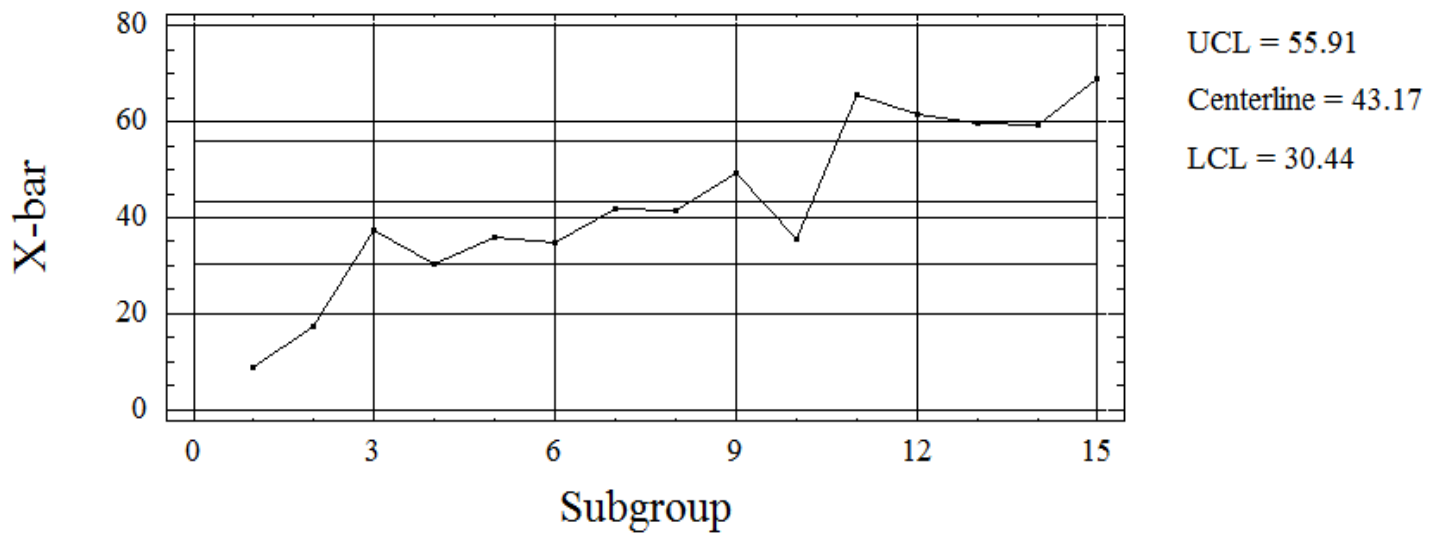
X = Excluded

* = Beyond Limits

Subgroup	Size	X-bar	Range
1	5	* 8.65	13.5
2	5	* 17.5	8.0
3	5	37.28	13.5
4	5	* 30.3	14.0
5	5	35.84	12.4
6	5	34.74	26.1
7	5	41.68	5.0
8	5	41.56	18.2
9	5	49.34	10.7
10	5	35.54	* 61.7
11	5	* 65.62	* 83.0
12	5	* 61.52	20.0
13	5	* 59.6	21.1
14	5	* 59.46	15.9
15	5	* 68.96	8.1

X-bar. Medido en horas-staff x día. Esta gráfica muestra la distribución del esfuerzo dedicado al proyecto, y muestra una tendencia ascendente del esfuerzo en el tiempo.

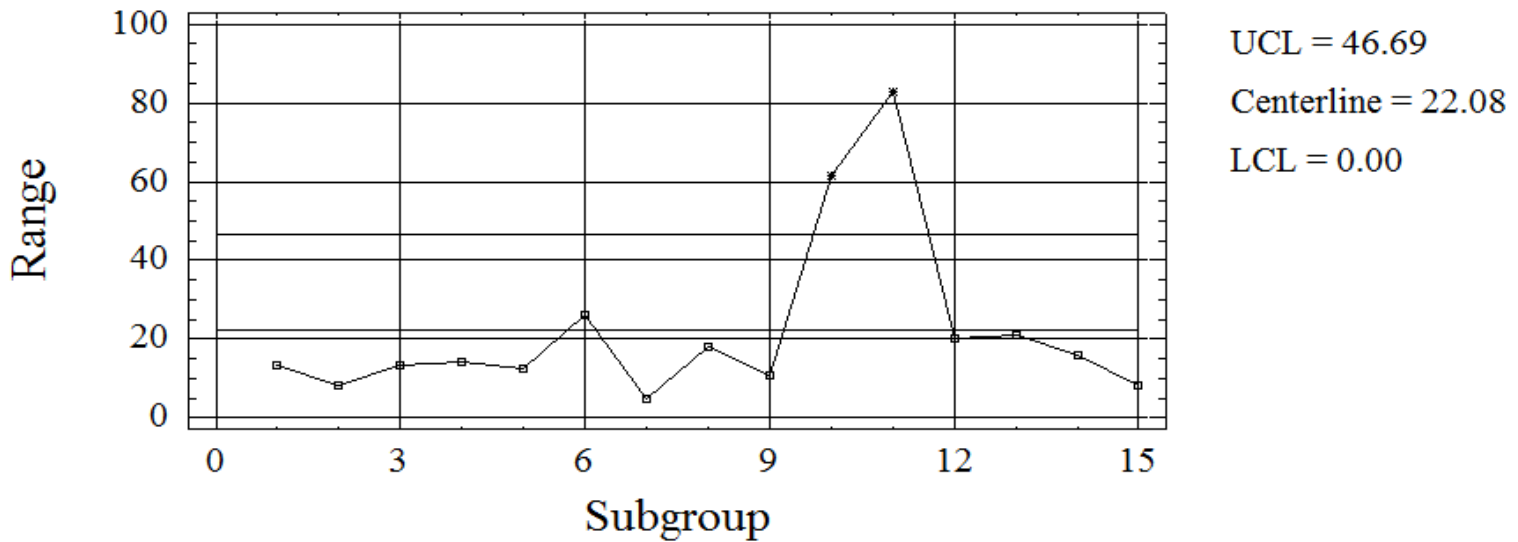
X-bar Chart for Effort



El Rango muestra la diferencia entre las medidas dentro de un subgrupo, un rango alto conlleva a problemas de capacidad del proceso.

Nota: el Rango está medido en horas-staff / día.

Range Chart for Effort



Runs Tests

Rules

- (A) runs above or below centerline of length 8 or greater.
- (B) runs up or down of length 8 or greater.
- (C) sets of at least 5 subgroups with at least 4 beyond 1.0 sigma.
- (D) sets of at least 3 subgroups with at least 2 beyond 2.0 sigma.
- (E) sets of at least 15 subgroups at or within 1.0 sigma.
- (F) sets of at least 8 subgroups beyond 2.0 sigma.

Violations

Subgroup	X-bar Chart	Range Chart
2	D	
3	D	
4	CD	
5	C	C
6	C	
7	C	
8	A	
11		D
12	D	D

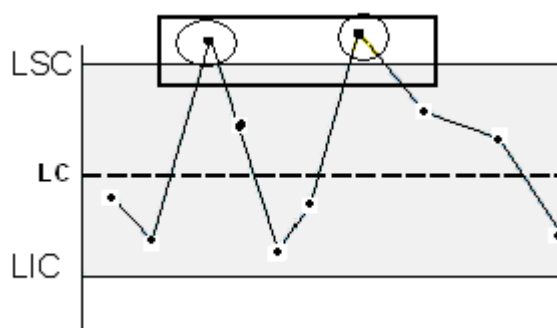
13	CD
14	CD
15	CD

Los subgrupos que se listan en la tabla de resultados anterior (Violations) no cumplen con los parámetros establecidos en la tabla (rules), por lo tanto el proceso no se encuentra bajo control estadístico, y el comportamiento anómalo de los subgrupos se explica a continuación.

La gráfica muestra que se presentan varios patrones que dejan el proceso de desarrollo en este proyecto fuera del control estadístico, no solo los puntos por fuera de los límites nos sugieren un comportamiento anómalo, sino las tendencias y la posible falta de aleatoriedad en los datos arrojan resultados negativos respecto al proceso implementado.

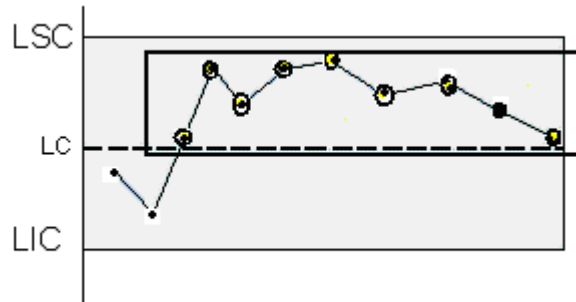
A continuación se evidencia patrones que se ven en el gráfico de control.

1. Puntos por fuera de los límites de control



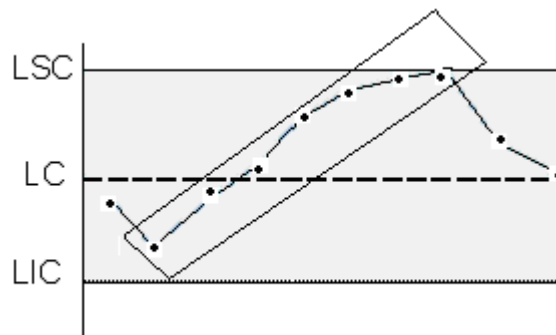
Este comportamiento se presenta en los últimos subgrupos, lo que evidencia inyección extra de horas hombre en las etapas de finalización del proyecto. Esto conlleva a mayores gastos de recurso humano, de infraestructura y de recurso económico; además, este comportamiento muestra que no se están siguiendo los cronogramas estipulados al inicio del proyecto, y los objetivos se cumplen gracias a las acciones específicas y el esfuerzo del grupo de trabajo.

2. **Secuencias:** Ocurrencia continua de puntos en un lado de la línea central. Una **secuencia de** puntos es señal de fuera de control. El comportamiento no es aleatorio.



Este patrón muestra posible falta de aleatoriedad en los datos, y se evidencia en los subgrupos 4 al 8, esta falta de aleatoriedad podría sugerir poca confiabilidad en los datos, o datos alterados para acomodarse al cronograma.

3. **Tendencia:** Cuando los puntos forman una secuencia continua ascendente o descendente. Se considera fuera de control cuando **seis o más puntos se presentan seguidos con aumento o disminución estable**.



La tendencia ascendente de la gráfica muestra que el esfuerzo es poco al inicio del proyecto y muy alto al finalizarlo, esto puede llevar a incumplimiento de los objetivos y gastos adicionales de infraestructura y recurso humano.

Capacidad del Proceso

El indicador de capacidad del proceso (mediante la variable “esfuerzo”) da una idea (medida cuantitativamente) de qué tanto está aportando el esfuerzo de los

programadores, y la gestión de este esfuerzo a generar ventajas en el proceso del desarrollo de software. Para el análisis de esta variable un indicador inferior a 1 indica que la gestión del esfuerzo no es óptima, y puede llegar a incurrir en incumplimiento de los objetivos y retrasos en los entregables, u otros problemas para los cuales el esfuerzo sea una variable directa; un indicador mayor a 1 indica que el proceso es “capaz” y puede cumplir los objetivos, y a medida que el indicador es superior, el esfuerzo contribuye en mayor medida al proceso de desarrollo, cubriendo en cierta medida otras variables que pueden afectar el proceso, o generando ventajas competitivas para el negocio.

$$C_p = 0.44 < 1$$

El proceso no es óptimo, el producto software se realiza, pero con defectos respecto a la variable tiempo, es decir: retrasos en la entrega, cantidad adicional de horas del grupo de trabajo diferentes a las programadas, etc.

Para hacer al proceso capaz, se recomienda en este caso reducir el rango (que las horas-staff x día, no sean muy diferentes entre días) y realizar el control del proceso (eliminar las tendencias y los puntos por fuera de los límites mostrados en la gráfica de control), lo que se logra con estandarización de las horas dedicadas al proceso diariamente (número de personas dedicadas a las tareas, y tiempo de esas personas al día) estas horas deben ser en promedio aproximadamente iguales día a día.

En conclusión, se evidencia que aunque algunos subprocesos estén bajo control estadístico, si todos estos no lo están, puede afectar fuertemente el proceso en general, realizar el control por subprocesos permite identificar en qué lugar del flujo de trabajo se encuentran los problemas y actuar allí para mejorar los indicadores y producir ventajas.

10. CONCLUSIONES

El control estadístico no mejora la calidad de un proceso sino que es una herramienta que ayuda a detectar los puntos que deben mejorarse. El CEP debe entenderse como una herramienta de prevención y no de detección de defectos.

El control estadístico es una herramienta que se puede aplicar a todos los procesos de la empresa; sin embargo, se debe hacer un análisis de las condiciones particulares de cada uno, para poder ajustar las herramientas y obtener resultados satisfactorios.

Un proceso siempre será susceptible de mejorar, aunque se encuentre bajo control estadístico. Por esta razón, no debe desecharse la posibilidad de realizar cambios que brinden mayor flexibilidad y eficiencia al proceso.

Además de las ventajas que el control estadístico ofrece para el mejoramiento de los procesos, productos o métodos de trabajo, es importante resaltar que también facilita la implementación de nuevas técnicas o herramientas de mejoramiento.

El Control Estadístico de Procesos es un conjunto de herramientas estadísticas que nos permite recopilar, estudiar y analizar la información de procesos repetitivos para poder tomar decisiones orientadas a la mejora de los mismos. El Control Estadístico de Procesos es aplicable no sólo a procesos productivos sino a cualquier tipo de proceso donde se cumplan dos condiciones: Que sea medible (observable) y que sea repetitivo.

El Control Estadístico de Procesos deberá ser utilizado por todo el personal que tenga o pueda tener en sus manos la posibilidad de mejorar algún proceso o reducir pérdidas.

Gracias a la retroalimentación que se realizó del análisis de datos, se pudo establecer el primer paso para la implantación de la Gestión Cuantitativa, ya que brinda a la compañía del medio la posibilidad de analizar los datos con un nuevo enfoque y unas nuevas herramientas.

11. RECOMENDACIONES

Después de haber desarrollado las herramientas necesarias para el control estadístico, es muy importante capacitar y concienciar al personal operativo y administrativo acerca de su responsabilidad en el buen funcionamiento de estas herramientas.

Para poder establecer un ciclo de mejoramiento continuo basado en el control estadístico, es muy importante crear espacios para la retroalimentación del personal, donde se analicen los resultados obtenidos en el control de los procesos y la eficacia de las soluciones implantadas hasta el momento, al igual que las dudas o inconvenientes presentados.

Los límites de control deben ser revisados periódicamente o cuando se implementen mejoras o modificaciones en el proceso. Si el sistema marcha hacia el mejoramiento continuo, los límites deben ser cada vez más estrechos, lo que significa que el proceso está disminuyendo su variabilidad.

Se debe garantizar el buen estado de los instrumentos de medición, ya que estos determinan la confiabilidad de la información que será utilizada como base para el control. Para mantener los equipos en buenas condiciones, se deben realizar evaluaciones periódicas por medio de un plan de mantenimiento preventivo.

RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

Gracias a la experiencia adquirida por el desarrollo del trabajo y de la retroalimentación de la empresa del medio, se llegó a la conclusión que esta guía puede sentarse como base para trabajos futuros en lo que respecta a la Gestión Cuantitativa del Proceso de Desarrollo de Software.

Partiendo del análisis realizado para la compañía del medio, de la variable “esfuerzo” en uno de sus procesos y subprocesos, se sugiere realizar análisis de datos diferentes en las diferentes compañías del medio, utilizando datos y variables propuestas por estas compañías, o basados en la tabla de métricas e indicadores propuesta en este trabajo de grado.

Para realizar estos análisis se sugieren los siguientes pasos:

1. Identificar una compañía del medio, que se encuentre en los niveles medios del estándar CMMI y esté dispuesta a iniciar un proceso de implantación de la Gestión Cuantitativa del Proceso de Desarrollo de Software.
2. Identificar el riesgo a la hora de conseguir la información, ya que no todas las compañías pueden estar dispuestas a brindar los datos para realizar el análisis.
3. Seguir el modelo propuesto para organizar los datos, y realizar el análisis.
4. Identificar comportamientos de la variable analizada y proponer recomendaciones.

12. APENDICES

APENDICE 1: CONSTRUCCIÓN DE GRÁFICOS.

PROCEDIMIENTO PARA CONSTRUIR UN GRÁFICO DE CONTROL

Nota: Utilícelo cuando necesite saber si la variabilidad de un proceso es debida a causas aleatorias o si es debida a causas asignables a fin de determinar si el proceso está bajo control (estadísticamente hablando).

1. GRÁFICO DE CONTROL DE VARIABLES. Las muestras son expresadas en unidades de medición **cuantitativas**, por ejemplo, longitud, peso, etc.

- Gráfico \bar{X} , R. Gráfico de los Promedios y Rangos de los Datos Recuperados

Calcule el promedio (\bar{X}) y el rango (R) de cada subgrupo:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

Donde n = Nº de muestras

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

Calcule el promedio del proceso ($\bar{\bar{X}}$) y promedio del rango (\bar{R}):

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \bar{X}_3 + \dots + \bar{X}_k}{k}$$

Donde k = Nº de subgrupos (20-25 grupos)

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_k}{k}$$

Calcule los límites de control:

$$LCS \bar{X} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$$

$$LCI \bar{X} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

$$LCS_R = D_4 \bar{R}$$

$$LCI_R = D_3 \bar{R}$$

Tabla de Factores para los Gráficos \bar{X} -R

Nº de observaciones en el subgrupo / (n)	Factores para el Gráfico X	Factores para el Gráfico R	
	A ₂	Inferior D ₃	Superior D ₄
2	1,880	0	3,268
3	1,023	0	2,574
4	0,729	0	2,282
5	0,577	0	2,114
6	0,483	0	2,004
7	0,419	0,076	1,924
8	0,373	0,136	1,864
9	0,337	0,184	1,816
10	0,308	0,223	1,777

2. GRÁFICOS DE CONTROL DE ATRIBUTOS. La muestra refleja características cualitativas, por ejemplo, es o no defectuoso (pasa, no pasa).

- Gráfico p. Fracción defectuosa

$$p = \frac{\text{Número De Rechazos En El Subgrupo}}{\text{Número De Unidades Inspeccionadas En El Subgrupo}}$$

$$\bar{p} = \frac{\text{NúmeroTotalDe Rechazos}}{\text{NúmeroTotalInspeccionado}}$$

$$LCS_p^* = \bar{p} + \frac{3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}}$$

$$LCI_p^* = \bar{p} - \frac{3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}}$$

- Gráfico np. Número de defectuosos

$$LCS_{np} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

$$LCI_{np} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

- Gráfico c. Número de defectos

$$\bar{c} = \frac{\text{NoTotalDeDefectos}}{\text{NoDeSubgrupos}}$$

$$LCS_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$LCI_{np} = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

Nota: Es una alternativa práctica cuando todas las muestras son del mismo tamaño.

- Gráficos u. Defectos por unidad

$$\bar{u} = \frac{\text{NoTotalDeDefectos}}{\text{NoTotalDeUnidadesInspeccionadas}}$$

$$LCS_u^* = \bar{u} + \frac{3\sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{n}}$$

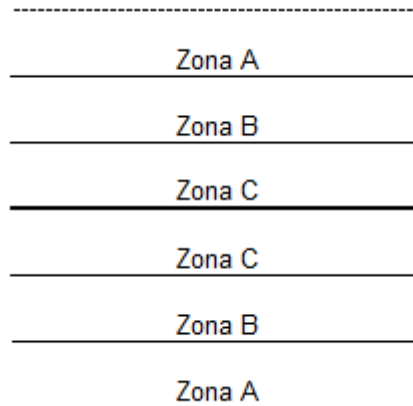
$$LCI_{np} = \bar{u} - \frac{3\sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{n}}$$

Nota: * Esta fórmula crea límites de control variables. Para evitar esto, se debe utilizar Tamaños de Muestras Promedio \sqrt{n} para aquellas muestras que son +/- 20% del tamaño regular. Calcule límites individuales para las muestras que excedan +/-20%.

INTERPRETACIÓN DE LOS GRÁFICOS DE CONTROL

Se dice que un proceso está “fuera de control” si:

1. Uno o más puntos caen fuera de los límites de control
2. Se divide el gráfico de control en zonas como sigue:



Debe tomarse nota y examinar lo que ha cambiado y posiblemente hacer un ajuste al proceso si:

- a. Dos de tres puntos consecutivos “caen” a un mismo lado de la línea central en la zona A o más allá.
- b. Cuatro de cinco puntos consecutivos “caen” a un mismo lado de la línea central en la zona B o más allá.
- c. Nueve puntos consecutivos “caen” a un lado de la línea central.
- d. Seis puntos consecutivos ascendiendo o descendiendo.
- e. Catorce puntos consecutivos ascendiendo y descendiendo alternativamente.
- f. Quince puntos consecutivos dentro de la zona C (arriba y debajo de la zona central).

CONSEJOS PARA LA ELABORACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS GRÁFICOS DE CONTROL

- En general, antes de calcular los límites de control, reúna entre 20 y 25 grupos de muestras.
- Los límites de control superior e inferior deben ser calculados estadísticamente. No los confunda con los límites de especificaciones ya que éstos están basados en los requerimientos del software.
- La gerencia tiene la oportunidad, a través del respaldo y la acción, de controlar/reducir la variación natural entre los límites de control.
- Asegúrese de seleccionar el tipo de gráfico adecuado para la situación apropiada.
- Los datos deben ser registrados en la secuencia que son obtenidos, de otra forma no serían útiles.
- No cambie el proceso mientras esté obteniendo los datos; éstos deben reflejar la situación real del proceso.

CAPACIDAD DEL PROCESO

Nota: Utilícelo cuando necesite determinar si el proceso, dada su variación natural, es capaz de satisfacer las especificaciones establecidas (por el cliente).

Estar en control no es suficiente. Un proceso “controlado” puede producir un mal producto. La verdadera mejora de un proceso nace del equilibrio entre la repetición, la consistencia y la capacidad de satisfacer los requerimientos del cliente.

Para poder medir objetivamente el grado en que su proceso satisface o no dichos requerimientos, se ha desarrollado índices de capacidad que permiten graficar esta medición. Los índices de capacidad permiten situar la distribución de su proceso en relación con los límites de especificación.

FÓRMULAS PARA CALCULAR LOS ÍNDICES DE CAPACIDAD DEL PROCESO

C_p es un índice simple de capacidad del proceso que relaciona la extensión de la distribución permitida de los límites de especificación (por ej., la diferencia entre el límite superior de especificación o LSE y el límite inferior de especificación o LIE) con la medición de la variación actual o natural del proceso representada por $6\hat{\sigma}$, donde $\hat{\sigma}$ indica la desviación estándar del proceso estimada.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}}$$

Si el proceso se encuentra bajo control estadístico, entonces $\hat{\sigma}$ puede ser estimado a partir del gráfico de control:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Donde \bar{R} es el promedio del rango de subgrupos

d_2 es un valor tabulado basado en el tamaño de la muestra del subgrupo

Factores para estimar $\hat{\sigma}$

n	d2
2	1,128
3	1,693
4	2,059
5	2,326
6	2,534
7	2,704
8	2,847
9	2,970
10	3,078

Si $C_p < 1$, la variación del proceso excede la especificación => se está creando defectos.

Si $C_p = 1$, el proceso satisface la especificación. Se obtendrá un mínimo d=0.3% de defecto y más si el proceso no está centrado.

Si $C_p > 1$, La variación del proceso es inferior a la especificación, sin embargo, se obtendrá defectos si el proceso no está centrado en el valor deseado.

Mientras que C_p se relaciona con la extensión de la distribución del proceso relativa a la amplitud de la especificación, no indica cuán bien el promedio del proceso, $\bar{\bar{X}}$, se centra en el valor deseado. A menudo, C_p es denominada la medida del proceso “potencial”.

Los índices de capacidad del proceso, C_{pl} y C_{pu} (por límites de especificación de un lado) y C_{pk} (por límites de especificación de dos lados), no sólo miden la variación del proceso con relación a la especificación permitida sino además la ubicación del promedio del proceso. Se considera que C_{pk} es la medida de la “capacidad” del proceso y se toma como la menor de C_{pl} o C_{pu} :

$$C_{pl} = \frac{\bar{\bar{X}} - LIE}{3\hat{\sigma}} \quad C_{pu} = \frac{LSE - \bar{\bar{X}}}{3\hat{\sigma}} \quad C_{pk} = \min(C_{pl}, C_{pu})$$

Si el proceso es casi normal y se encuentra bajo control estadístico, C_{pk} puede ser usado para estimar el porcentaje estimado de material defectuoso.

CONSEJOS PARA LA ELABORACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL PROCESO

- El índice C_p se limita a especificaciones de dos lados.
- Algunas compañías usan la razón inversa de C_p .

$$C_p = \frac{6\hat{\sigma}}{LSE - LIE}$$

- Pregunte al cliente que razón utiliza para la interpretación.
- El uso de índices de capacidad del proceso presupone especificaciones realistas y con sentido.
- Asegúrese de que usted y el cliente estén de acuerdo sobre las mismas.
- Si $C_{pl} + C_{pu}$, el proceso está exactamente centrado.
- Muchas compañías están estableciendo objetivos específicos de capacidad de proceso. En general, un C_{pk} de 1.33 para las calificaciones de los proveedores y un logro esperado de $C_{pk} = 2$ o superior, en el largo plazo.

PROCEDIMIENTO PARA CONSTRUIR UN HISTOGRAMA

Nota: Utilícelo cuando necesite descubrir y mostrar la distribución de datos graficando con barras el número de unidades en cada categoría.

Un histograma toma datos de mediciones, por ejemplo, temperatura, mediciones, etc. y muestra a su vez su distribución. Esto es crítico puesto que sabemos que todos los eventos repetidos producirán resultados que varíen con el tiempo. Un histograma revela la cantidad de variación propia de un proceso.

Pasos para la elaboración de un Histograma

Se inicia con una serie de números tal como la siguiente:

9,9	9,3	10,2	9,4	10,1	9,6	9,9	10,1	9,8
9,8	9,8	10,1	9,9	9,7	9,8	9,9	10,0	9,6
9,7	9,4	9,6	10,0	9,8	9,9	10,1	10,4	10,0
10,2	10,1	9,8	10,1	10,3	10,0	10,2	9,8	10,7
9,9	10,7	9,3	10,3	9,9	9,8	10,3	9,5	9,9
9,3	10,2	9,2	9,9	9,7	9,9	9,8	9,5	9,4
9,0	9,5	9,7	9,7	9,8	9,8	9,3	9,6	9,7
10,0	9,7	9,4	9,8	9,4	9,6	10,0	10,3	9,8

9,5	9,7	10,6	9,5	10,1	10,0	9,8	10,1	9,6
9,6	9,4	10,1	9,5	10,1	10,2	9,8	9,5	9,3
10,3	9,6	9,7	9,7	10,1	9,8	9,7	10,0	10,0
9,5	9,5	9,8	9,9	9,2	10,0	10,0	9,7	9,7
9,9	10,4	9,3	9,6	10,2	9,7	9,7	9,7	10,7
9,9	10,2	9,8	9,3	9,6	9,5	9,6	10,7	

- PASO 1: Contar el número de datos en la serie. Para el ejemplo son 125 datos (n=125).
- PASO 2: Determinar el rango, R, de los datos. El rango es la diferencia entre el valor más grande y el más pequeño del conjunto de datos. Para el ejemplo, el rango es igual a 10,7 menos 9,0; así que R=1,7.
- PASO 3: Divida el valor del rango entre un cierto número de clases referidas como k. La siguiente tabla es una guía que muestra para diferentes cantidades de datos el número recomendado de clases a utilizar. Para el ejemplo, se recomienda usar entre 7 y 12 clases. Se tomará k=10.

Número de Datos	Número de Clases (k)
Menos de 50	5-7
50-100	6-10
100-250	7-12
Más de 250	10-20

- PASO 4: Determine el intervalo H, de la clase. Una fórmula adecuada para hacer esto es la siguiente:

$$H = \frac{R}{K} = \frac{1,7}{10} = 0,17$$

En este caso, es conveniente redondear H a un número adecuado. Para el ejemplo H=0,20. El intervalo debe ser constante a través de toda la distribución de frecuencias.

- PASO 5:** Determine los límites de clase. Para una determinación sencilla de los límites de clase tome la menor medición individual de los datos. Use este número o redondee hacia un número menor. Este será el punto inferior de nuestro primer límite de clase. Para el ejemplo la medición más pequeña es 9,0. Tomar este número y suma el intervalo de clase, $9,0+0,20=9,20$. En consecuencia, el próximo límite clase inferior comenzaría en 9,20. La primera clase incluye al 9,0 y los números menores que 9,20; no incluyendo al 9,20; de 9,0 hasta 9,19. La segunda clase empieza en 9,20 hasta 9,40. Esto hace que cada clase sea mutuamente excluyente, con lo que cada uno de nuestros datos corresponderá a una sola categoría. Finalmente, sume consecutivamente el intervalo de clase, 0,20, al límite de clase inferior hasta que obtenga el número correcto de clases, aproximadamente 10, que contienen todos los números.
- PASO 6:** Construya una tabla de frecuencias basada en los valores obtenidos (número de clases, intervalo de clase y límite de clase). La tabla de frecuencias es actualmente un histograma en forma tabular. Un atabla de frecuencias basada en los datos del ejemplo es la siguiente:

Clase #	Límite de Clase	Valor Medio	Frecuencia	Total
1	9,00 – 9,19	9,1	I	1
2	9,20 - 9,39	9,3		9
3	9,40 - 9,59	9,5		16
4	9,60 - 9,79	9,7		27
5	9,80 - 9,99	9,9		31
6	10,00 - 10,19	10,1		22
7	10,20 - 10,39	10,3		12
8	10,40 - 10,59	10,5	II	2
9	10,60 - 10,79	10,7		5
10	10,80 - 10,99	10,9		0

- PASO 7:** Construya el histograma basado en la tabla de frecuencias. Un histograma es una representación gráfica de una tabla de frecuencias.

El histograma es una herramienta de diagnóstico muy importante, ya que muestra una vista panorámica de la variación en la distribución de los datos. En el ejemplo, los datos tienen la tendencia central entre 9,8 y 9,99 y parecen seguir una distribución normal.

La especificación para la característica en estudio (espesor) es de 7,5 a 10,5; con su valor central en 9. Por lo tanto, se puede ver que el proceso alcanza valores altos y que se está fabricando material defectuoso.

CONSEJOS PARA LA ELABORACIÓN E INTERPRETACIÓN DE UN HISTOGRAMA

- El número de clases (barras en la gráfica) determina el tipo de imagen en la distribución.
- Las distribuciones de algunos procesos son sesgadas por naturaleza. No esperar que cada distribución sea normal.
- Analizar detenidamente el tipo de distribución obtenida y su ubicación con respecto a los límites de especificación. Así, observar el intervalo de la distribución con el fin de tener una idea de su variabilidad.
- Observar si la distribución es bimodal, lo que significaría qué información provienen de dos o más fuentes diferentes, por ejemplo, turnos, máquinas, etc.

13. BIBLIOGRAFÍA

- Florac William A, Carleton Anita D. MEASURING THE SOFTWARE PROCESS: STATISTICAL PROCESS CONTROL FOR SOFTWARE PROCESS IMPROVEMENT. Año 1999.
- Gómez Ana M, Suárez Tatiana. PROYECTO DE GRADO: GUÍA METODOLÓGICA PARA LA APLICACIÓN Y CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA PEQUEÑA Y MEDIANA EMPRESA. Universidad EAFIT, Centro Cultural Luís Echavarría Villegas. Medellín, 2003.
- Maller Patricio, Ochoa Claudio, Silva Joseph. AGILIZANDO EL PROCESO DE PRODUCCION DE SOFTWARE EN UN ENTORNO CMMI NIVEL 5.
- GUTIERREZ, Mario - *Administrar para la calidad: Conceptos Administrativos del Control total de Calidad* / México: Grupo Noriega Editores, 1992. 3ª. ed.
- GRANT, Eugene – LEAVENWORTH, Richard - *Control Estadístico de la Calidad* / México: CECSA, 1996. 2ª. ed.
- RICO, Ruben R. - *Calidad Estratégica Total: Total Quality Management* / Argentina: Macchi, 1998. 1ª. ed.
- SALES, Matías. *Biblioteca Virtual*. Uch-rrhh. Management. Calidad Total y Reingeniería. [online].[cited 08/06/03] <http://www.uch.edu.ar/rrhh/calidad/htm.2002>.
- AMOR PULIDO, R.; MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, A.M y OLMO JIMÉNEZ, M.J.(2005): Control Estadístico de la Calidad. Grupo Editorial Universitario.
- HANSEN, B.L. y GHARE, P.M.(1990): Control de Calidad. Teoría y Aplicaciones. Díaz de Santos.

- MONTGOMERY, D.C.(1991): Introduction al Control Estadístico de la Calidad. Grupo Editorial Iberoamérica.
- MONTGOMERY, D.C.(2001): Introduction to Statistical Quality Control. Wiley.
- NAVARRETE, E. (1998): Control Estadístico de la Calidad: Control Estadístico de Procesos. Editorial Adhara.
- POLA MASEDA, A.(1988): Aplicación de la Estadística al Control de Calidad. Marcombo.
- RYAN, T.P.(1989): Statistical Methods for Quality Improvement. Wiley.
- ASOCIACION COLOMBIANA DE LA CALIDAD TOTAL. Curso integrado de actualización en el área técnica de la calidad total. Medellín: s.n, 1991. Pág 206.
- DUNCAN, Acheson J. Quality Control and Industrial Statistics. 5 ED. USA: Irwin, 1996. Pág 228-229.
- HODSON, William K. Manual del Ingeniero Industrial. 4 ED. México: Mc Graw Hill, 1997. V.3.
- KUME, Hitoshi. Herramientas básicas para el mejoramiento de la calidad. Bogotá: Norma, 1992. Pág 236.
- OWEN, Maldwyn. SPC and Continuous Improvement. Berlín: IFS Publications, 1989. Pág 366.
- RYAN, Thomas P. Statistical Methods for Quality Improvement. New york: Wiley, 1989. Pág 446.
- SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE, Medellín. Herramientas estadísticas de la calidad, 1992. Pág 52.

- THE DOW QUIMICAL COMPANY. Getting Started in SQC. Michigan: s.n, 1992. Pág 56.
- THOMAS, D.W. Statistical Quality Control Handbook. USA: Delmar, 1985. Pág 328.
- Universidad EAFIT, Centro Cultural Luís Echavarría Villegas. GUÍA PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS Y TESIS DE GRADO, Medellín, 2007.